

А. И. КРАСНОВ

Волчок

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА
ВЫПУСК 100

А. И. КРАСНОВ

ВОЛЧОК
И ПРИМЕНЕНИЕ ЕГО СВОЙСТВ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1958

16-2-1

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3
Фуэте, жонглирование, охота и волчок 3
Математическая русалка 9
Причины устойчивости 13
«Семейство» волчков 19
Искусственный горизонт 23
«А все-таки она вертится!» 26
Волчок в космосе 31
Снаряд-гироскоп 31
Торпеда и гироскоп 33
Слепой полет 34
Самолет без летчика 42
Компас без магнита 45
Несколько полезных и вредных неожиданностей 49
Борьба с качкой 55
Однорельсовая дорога 58
Заключение 59
Литература 61

Краснов Александр Иванович.
Волчок и применение его свойств.

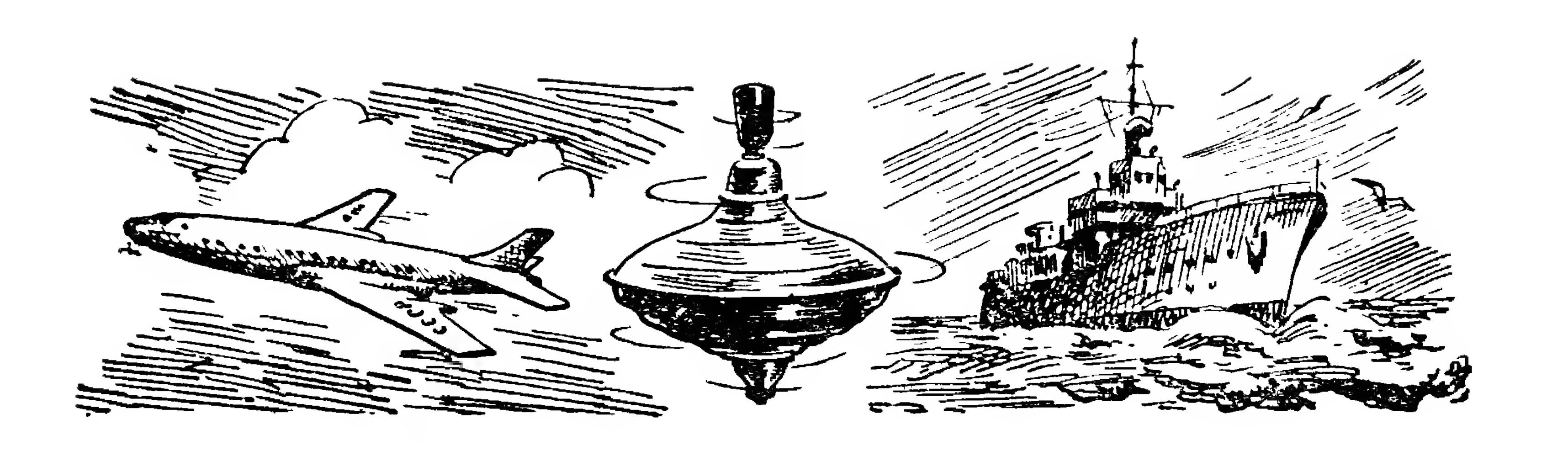
Редактор *Д. А. Катренко.*

Технический редактор *К. Ф. Брудно.* Корректор *Т. С. Плетнева.*

Сдано в набор 1/XI 1957 г. Подписано к печати 16/XII 1957 г. Бумага 84 × 108 1/32.
Физ. печ. л. 2. Условн. печ. л. 3,28. Уч.-изд. л. 3,14. Тираж 50000 экз. Т-10482.
Цена 95 коп. Заказ № 3006.

Государственное издательство технико-теоретической литературы.
Москва, В-71, Ленинский проспект, 15.

Типография «Красный пролетарий» Госполитиздата
Министерства культуры СССР. Москва, Краснопролетарская, 16.



ВВЕДЕНИЕ

Волчок, кубарь, юла...

У кого из ребят не вызывала восхищения и любопытства эта забавная детская игрушка?

В представлении большинства взрослых волчок — тоже всего лишь занимательная игрушка. Очень немногие представляют ее значение для техники. А между тем волчок — важнейшая деталь ряда приборов и механизмов. Без этой «игрушки» многое в технике оказалось бы невозможным или трудно осуществимым.

Об основных замечательных свойствах волчка, о том, как волчок используется в технике, мы и расскажем в этой книжке.

ФУЭТÉ, ЖОНГЛИРОВАНИЕ, ОХОТА И ВОЛЧОК

Пытливо всматриваясь в происходящее вокруг нас, нетрудно обнаружить много удивительных явлений.

Все знают, например, что устоять на кончике пальцев одной ноги невозможно. Но одна из фигур балетного танца, так называемое фуэтé, казалось бы, опровергает это (рис. 1).

Секрет раскрывается очень просто. В фуэтé балерина быстро вращается. Опытные танцоры прекрасно знают, что такую фигуру тем легче выполнить, чем быстрее вращение.

Жонглеры нередко исполняют довольно оригинальный номер с ножами. Подбрасываемые один за другим, ножи сохраняют все время строго определенное положение в пространстве (рис. 2).

Внимательно понаблюдав за действиями жонглера, мы обнаружим, что подбрасываемые ножи быстро вращаются вокруг оси, проходящей вдоль лезвия и рукоятки. Попытавшись подбросить не вращающийся нож, мы заметим, что он падает беспорядочно.

Попробуйте удержать тарелку на тонком стержне.



Рис. 1. Балерина, исполняющая фуэтé.



Рис. 2. Жонглирование быстро вращающимися ножами.

Это легко удастся, если она быстро вращается. Опытный жонглер манипулирует сразу несколькими тарелками, вращающимися на стержнях (рис. 3).

Удивительного успеха достигает жонглер с быстро вращающимся шаром, легко удерживая его на кончике пальца. Затем вдруг шар оказывается на туго натянутой веревке, свободно перемещаясь по ней. С веревки артист снимает шар кончиком меча; шар «пробегает» по лезвию, перекатывается на руки жонглера, затем на спину, со спины на другую руку.

Не успеют стихнуть аплодисменты, как артист приступает к «номеру», еще более изумительному по своему эффекту. Жонглер начинает вдруг бросать к зрителям одну за другой несколько шляп. Шляпы, пролетая вереницей над головами зрителей, постепенно «набирают

высоту». Затем, к изумлению публики, описав небольшую дугу, они возвращаются в руки артиста.

Пристально наблюдая за полетом «удивительных» шляп, мы обнаружим, что жонглер бросает их не как придется. Шляпа быстро вращается и летит под определенным углом к горизонту, перемещаясь в воздухе подобно бумерангу.

Бумеранг — это один из видов метательного оружия древних народов Индии, Египта, Австралии. Это чрезвычайно любопытное оружие. Бумеранг летит к цели, описывая причудливую траекторию. Не попавший в цель и не встретивший препятствия, бумеранг неизменно возвращается к бросившему его охотнику.

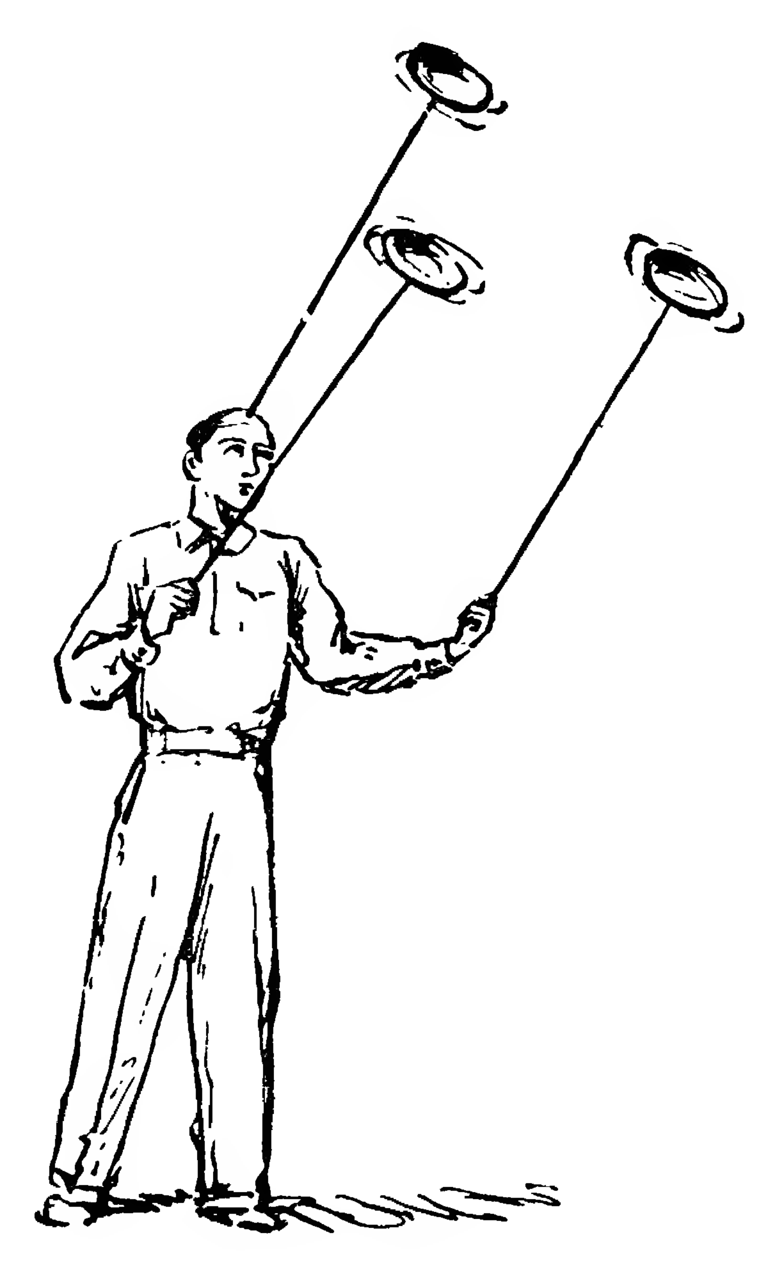


Рис. 3. Жонглирование быстро вращающимися тарелками.

Нетрудно сделать маленькую модель бумеранга из кусочка тонкого картона. Такой бумеранг надо «запускать» щелчком по его уголку, как показано на рис. 4.

Плоскости бумеранга или поля шляпы должны быть изогнуты подобно винту самолета. Кроме того, эти плоскости должны совпадать с направлением полета.

Летя в направлении броска, быстро вращающаяся шляпа и бумеранг как бы ввинчиваются в воздух. Сила сопротивления воздуха стремится поставить их под прямым углом к направлению полета. Но сила броска значительно больше этого сопротивления. Вот почему шляпа или бумеранг движется по восходящей линии, «с набором высоты».

Когда энергия, сообщенная при броске, иссякает, бумеранг, продолжая вращаться, начинает под действием силы тяжести падать.

Но и в этом случае быстро вращающийся бумеранг или шляпа из-за сопротивления воздуха не падает вертикально, а, скользя по воздуху, возвращается обратно.

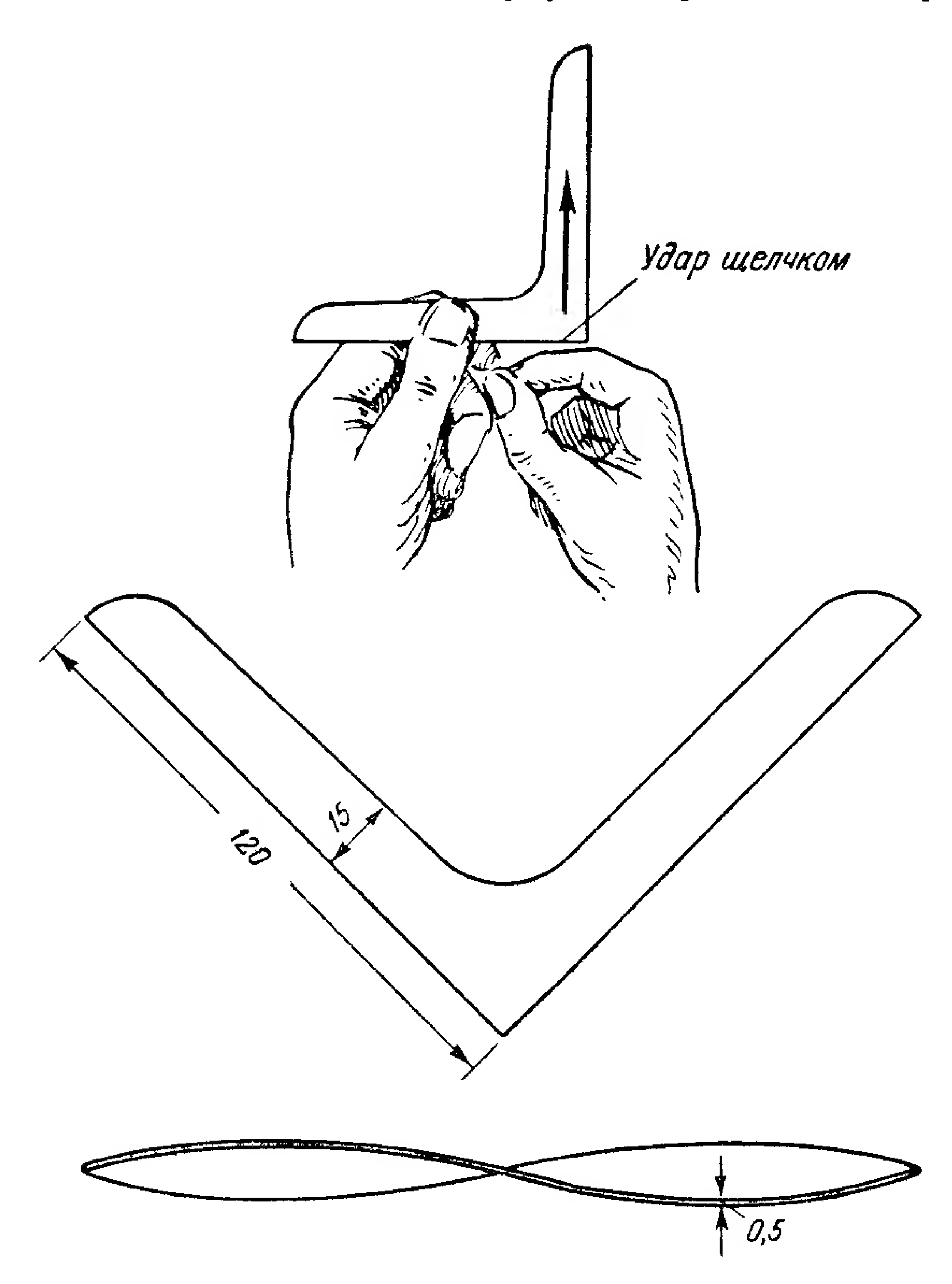


Рис. 4. Бумеранг из картона.

Из этого примера мы убеждаемся, что шляпа и бумеранг устойчиво сохраняют свое положение в пространстве также вследствие вращения. Этот вывод подкрепляется еще более простым опытом с вареным куриным яйцом.

Как поставить куриное яйцо на заостренный конец, носок? Это можно сделать, лишь приведя яйцо в быстрое

вращение. Вовсе не обязательно вращать его, поставив на носок. Лежащее на боку куриное яйцо, к нашему удивлению, при вращении вдруг «само по себе» встает на носок, сохраняя некоторое время это необычное положение.

Тела яйцеобразной формы подобны детской игрушке — волчку.

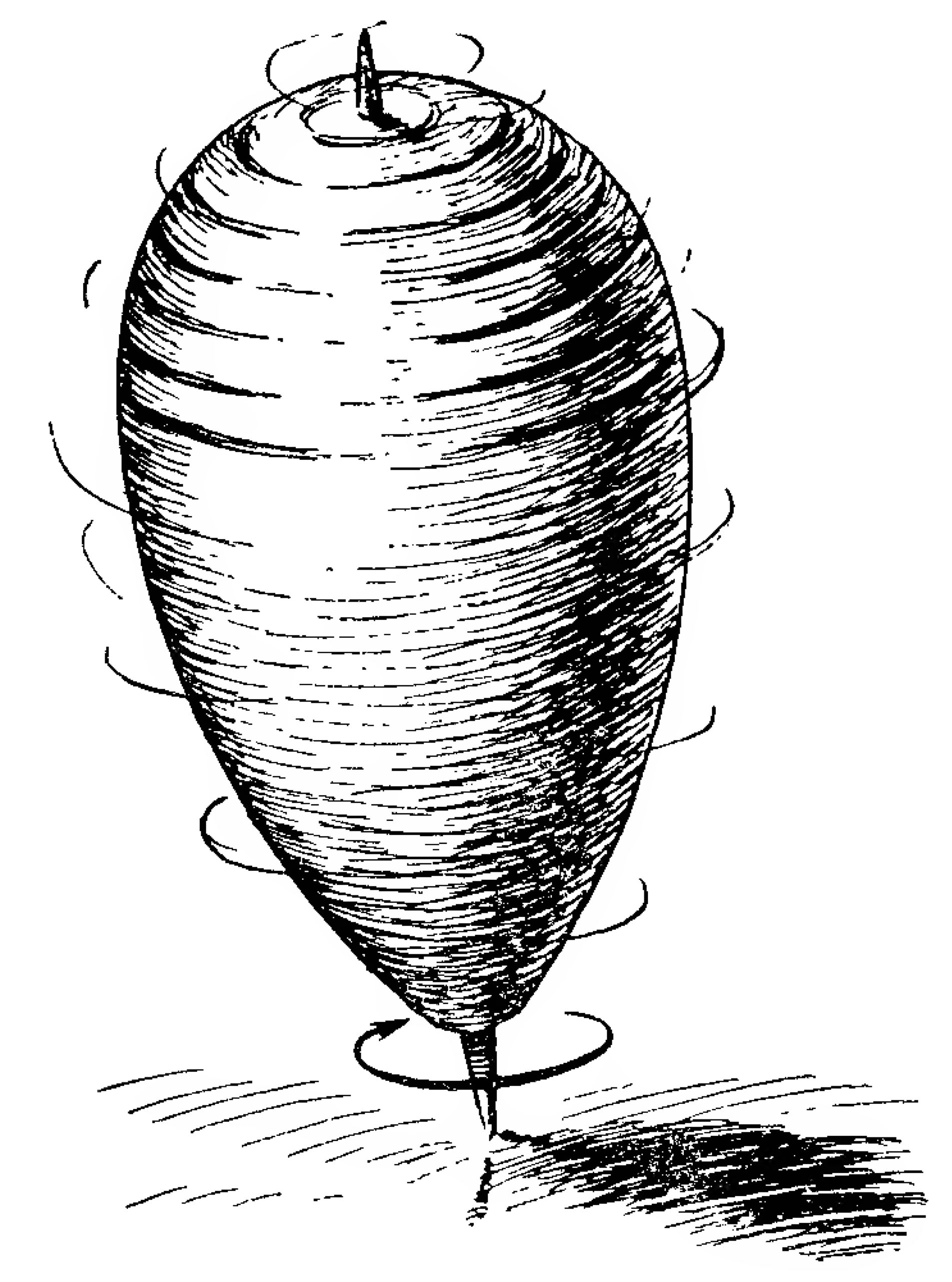


Рис. 5. Положение быстро вращающегося волчка.

Неподвижный волчок также лишен устойчивости. Сколько бы мы ни пытались поставить его на заостренный конец, он будет безжизненно валиться на бок.

Совершенно иное происходит с быстро вращающимся волчком. Опираясь о поверхность своим острием и быстро вращаясь вокруг оси, волчок стоит будто «вкопанный» (рис. 5).

Попытаемся свалить вращающийся волчок, толкнув его пальцем. Как это ни странно, он не упадет, а лишь отскочит в сторону, продолжая быстро вращаться.

Подбросив невращающийся волчок, мы увидим, что он беспорядочно переворачивается в воздухе. Приведем

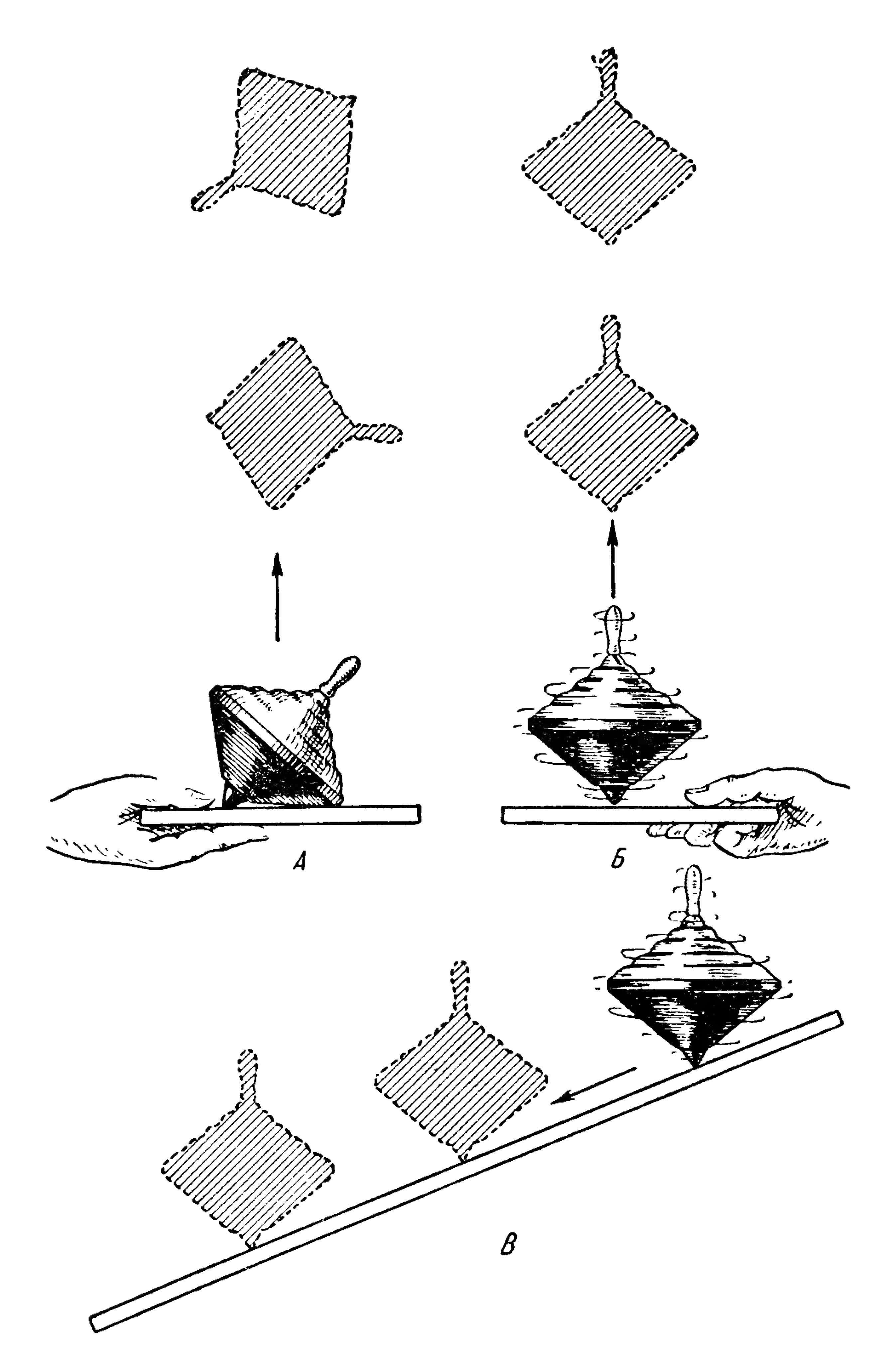


Рис. 6. Различные случаи «поведения волчка». *А* — невращающийся волчок, подброшенный, взлетает, беспорядочно кувыркаясь в пространстве; *Б* — быстро вращающийся волчок, подброшенный, устойчиво сохраняет свое положение в пространстве; *В* — на наклонной плоскости быстро вращающийся волчок легко «сбегает» под уклон, устойчиво сохраняя вертикальное положение своей оси в пространстве.

затем волчок в быстрое вращение на дощечке и подбросим его. Теперь он устойчиво сохраняет свое положение. Упав обратно, он по-прежнему продолжает вращаться. При этом наклон поверхности не изменит положения его оси. Волчок будет перемещаться под уклон, сохраняя своё вертикальное положение (рис. 6).

Вращающийся волчок замечателен прежде всего устойчивостью, то есть способностью неизменно сохранять вертикальное положение.

Но почему вращающиеся тела проявляют такую удивительную устойчивость?

К рассказу об этом мы и перейдем.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ РУСАЛКА

Удивительные свойства волчка издавна привлекали внимание многих ученых. Еще в XVIII веке делались попытки практически использовать эти свойства.

В механике волчком называют твердое тело, которое вращается около какой-то оси, имеющей неподвижную точку.

Математическое решение задачи о вращении твердого тела вокруг неподвижной точки представляет большую трудность и сложность. Полностью эта задача не решена и до настоящего времени.

Решить ее пытались многие ученые.

Вначале решение того или иного частного случая задачи, казалось бы, шло благополучно, но в итоге ничего не получалось. По этому поводу замечательная русская женщина, крупнейший ученый, Софья Васильевна Ковалевская говорила, что зада́ча о вращении твердого тела может быть названа «математической русалкой».

Теоретическое решение задачи о вращении твердого тела осуществлено лишь для трех частных случаев. Окончательного, полного решения этого вопроса нет и поныне.

Решения трех частных случаев были выполнены в разное время крупнейшими учеными: членом Российской Академии наук Леонардом Эйлером, французским ученым Жозефом Луи Лагранжем и первой русской женщиной-ученым Софьей Ковалевской.

Л. Эйлер в своем знаменитом сочинении «Теория движения твердого тела» в 1765 г. дал решение задачи о

движении вращающегося твердого тела, у которого центр тяжести (точка, через которую проходит сила тяжести тела при любых возможных положениях его) находится в точке опоры (рис. 7). Такой волчок, даже не вращаясь, сохраняет устойчивое равновесие.

Несколько позже Ж. Л. Лагранж (1736—1813 гг.) решил задачу более сложную, чем Л. Эйлер (рис. 8). Он

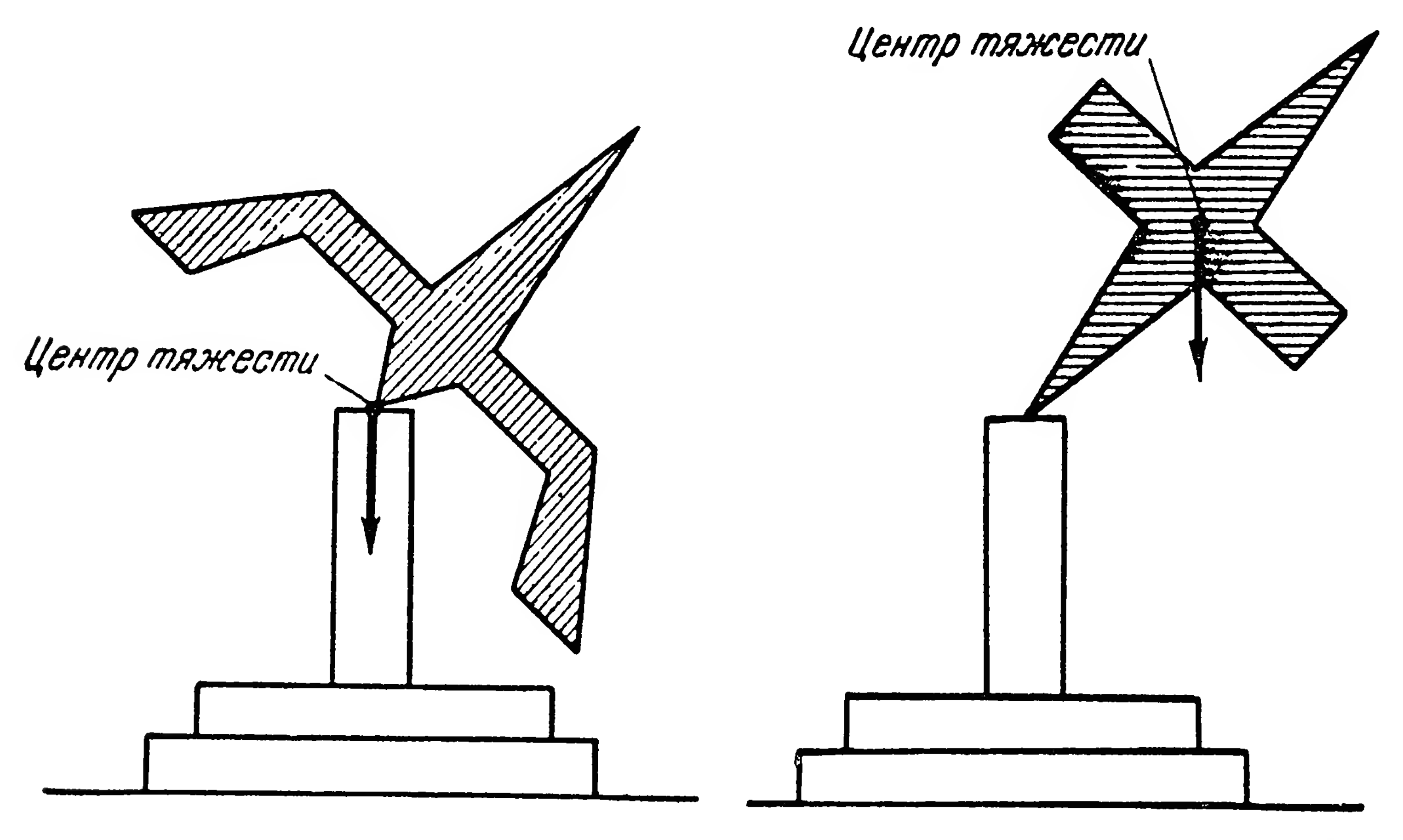


Рис. 7. Волчок, законы вращения которого открыл в XVIII веке член Российской Академии наук Леонард Эйлер.

Рис. 8. Волчок, законы вращения которого открыл в конце XVIII и начале XIX века французский ученый Жозеф Луи Лагранж.

решил задачу вращения твердого тела, центр тяжести которого находится выше точки опоры.

Таким образом, труды Л. Эйлера и Ж. Л. Лагранжа были положены в основу теории «волчка». С тех пор многие ученые во всем мире пытались продолжить решение этой задачи. Однако на протяжении почти ста лет их попытки терпели неудачу. «Математическая русалка» не давалась ученым. Французская Академия наук установила специальную премию Бордена в размере трех тысяч франков лишь за усовершенствование решения этой задачи в «каком-либо существенном пункте».

Эта награда, вручаемая по конкурсу, долгое время не присуждалась никому; теоретические работы по «усо-

вершенствованию в каком-либо существенном пункте» на рассмотрение не поступали. Так безуспешно прошли два конкурса.

По условиям конкурса следовало представить два пакета под одним и тем же названием (девизом). В одном из них должно было находиться решение задачи, а во втором — записка с именем представившего материал. Вначале вскрывали пакет с решением задачи, и специалисты давали заключение по нему. После этого вскрывали второй пакет, где была указана фамилия автора. Это исключало возможность пристрастной оценки.

В 1888 г. одна из пятнадцати работ, поступивших на третий конкурс, вызвала особенный восторг ученых, членов конкурсной комиссии. Эта работа значилась под девизом: «Говори, что знаешь, делай, что обязан, будь, чему быть».

Конкурсная комиссия, состоявшая из ряда крупнейших ученых, единодушно вынесла решение выдать автору этой работы премию, увеличенную с трех до пяти тысяч франков.

В отзыве о работе, заслужившей такое одобрение, между прочим, говорилось, что она является «замечательным трудом, который содержит открытие нового случая..., автор не удовольствовался прибавлением решения к тем решениям, какие перешли к нам по этому предмету от Эйлера и Лагранжа, а сделал из своего открытия углубленное исследование с применением всех возможностей современной теории функций».

После этого, вскрыв второй конверт с девизом, комиссия узнала, что автором работы, получившей такое блестящее заключение, является Софья Васильевна Ковалевская.

Известный французский математик Дюбуа-Реймон, выступая на торжественном вручении премии, сказал:

«Софья Ковалевская не только превзошла немногих предшественниц в математическом образовании, но заняла между современными математиками одно из самых видных мест. Она получила премию за решение вопроса о вращении твердого тела под влиянием действующих на него сил. Решение третьей задачи, самой сложной, принадлежит Ковалевской. Ее решением исчерпываются средства современного анализа».

Сложность задачи, решенной Софьей Ковалевской, нетрудно понять, если учесть, что у исследованного ею «волчка» центр тяжести находится где-то в стороне от точки опоры (рис. 9), а следовательно, вне оси вращения. Движение такого волчка вокруг оси неравномерное, прерывистое.

Решение задачи, рассмотренной С. В. Ковалевской, чрезвычайно сложно. В математическом изложении его под силу разобраться только крупнейшим математикам, что подтверждается, например, такими фактами.

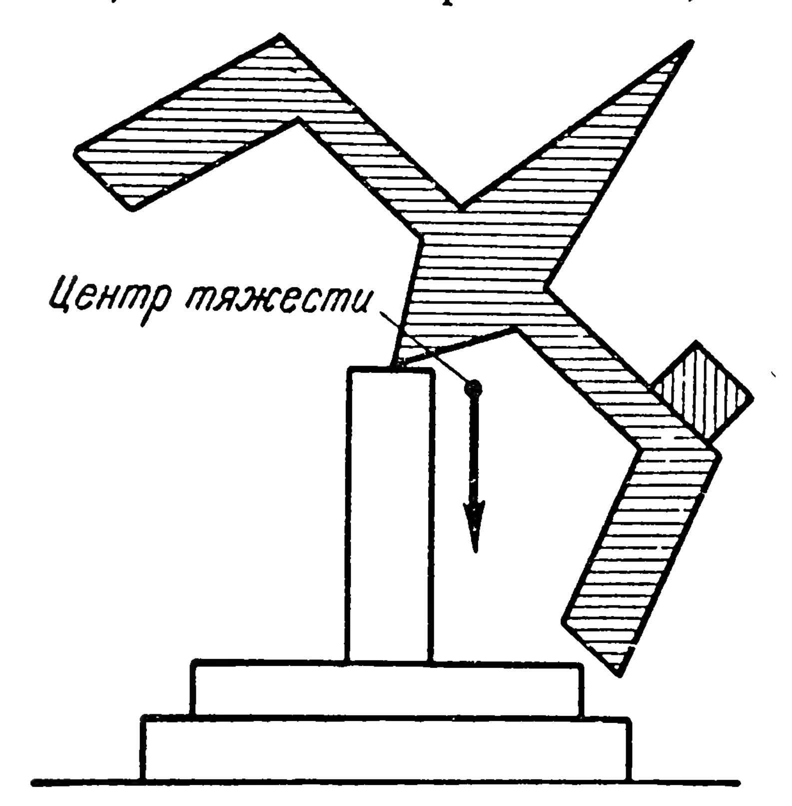


Рис. 9. Самый сложный случай быстро вращающегося волчка, законы движения которого открыла Софья Васильевна Ковалевская.

При вручении премии президент Французской Академии наук астроном Жансен говорил:

«Между венками, которые мы даем сегодня, один из прекраснейших и труднейших для достижения возлагается на чело женщины. Наши сочлены нашли, что труд ее является свидетельством не только глубокого и широкого знания, но и признаком ума великой изобретательности».

Высокое одобрение столь сложному труду С. В. Ковалевской дал старейший французский математик того времени Шарль Эрмит. Он писал Софье Васильевне, что с нетерпением ожидает опубликования ее трудов, чтобы заняться исследованием отдельных элементов этой работы, предполагая «собирать колосья со сжатого ею поля». Он надеялся путем исследования ее труда совершить ряд новых открытий.

Глубина и широта задачи, решенной Софьей Васильевной, настолько грандиозны, что обстоятельному исследованию этой ее работы с физической и математической сторон и детальному анализу возможных случаев посвятил всю жизнь один из учеников Н. Е. Жуковского — Г. Г. Аппельрот.

С. В. Ковалевская опубликовала еще три работы по исследованию вращения твердого тела. За одно из этих

дополнительных исследований ей была присуждена в 1889 г. премия Шведской Академии наук.

По словам отца русской авиации, знаменитого русского ученого Н. Е. Жуковского, работы С. В. Ковалевской в области вращения твердого тела составили ей огромную славу ученого.

Петербургская Академия наук впервые в истории отступила от своих правил, избрав Софью Васильевну Ковалевскую по предложению русского ученого П. Л. Чебышева своим членом-корреспондентом, предварительно внеся изменения в Устав Академии, не позволявший этого сделать.

Значение избрания С. В. Ковалевской трудно переоценить. Ведь в то время женщин не допускали даже в высшие учебные заведения.

Прикладное значение классических работ Л. Эйлера, Ж. Л. Лагранжа и С. В. Ковалевской огромно. Они облегчили проведение ряда исследований по практическому использованию свойств волчка в астрономии для изучения фигур планет и во многих других отраслях науки и техники для самых различных целей. Крупные работы о волчке теоретического и практического характера выполнены русскими учеными: Булгаковым Б. В., Горячевым Д. Н., Жуковским Н. Е., Колосовым Г. В., Крыловым А. Н., Ляпуновым А. М., Николаи Е. Л., Чаплыгиным С. А. и другими, а также зарубежными, например Леви-Чивита.

Познакомимся теперь несколько подробнее с основными законами «поведения» быстро вращающегося волчка.

ПРИЧИНЫ УСТОЙЧИВОСТИ

Внимательно наблюдая за «поведением» предметов, находящихся вокруг нас, мы обнаружим ряд любопытных явлений.

Например, соскочивший с быстро вращающихся шкивов приводной ремень некоторое время катится, словно твердое колесо. Точно так же ведет себя металлическая цепь.

Предметы, свободно подвешенные на стержнях, будут висеть в привычном для нас положении. Но стоит привести стержни в быстрое вращение, как эти предметы сначала начнут покачиваться, а затем опять займут

устойчивое положение, но не совсем такое, в каком они были раньше (рис. 10).

Быстро вращающийся диск из бумаги при ударах издает звон. При очень больших скоростях вращения бу-

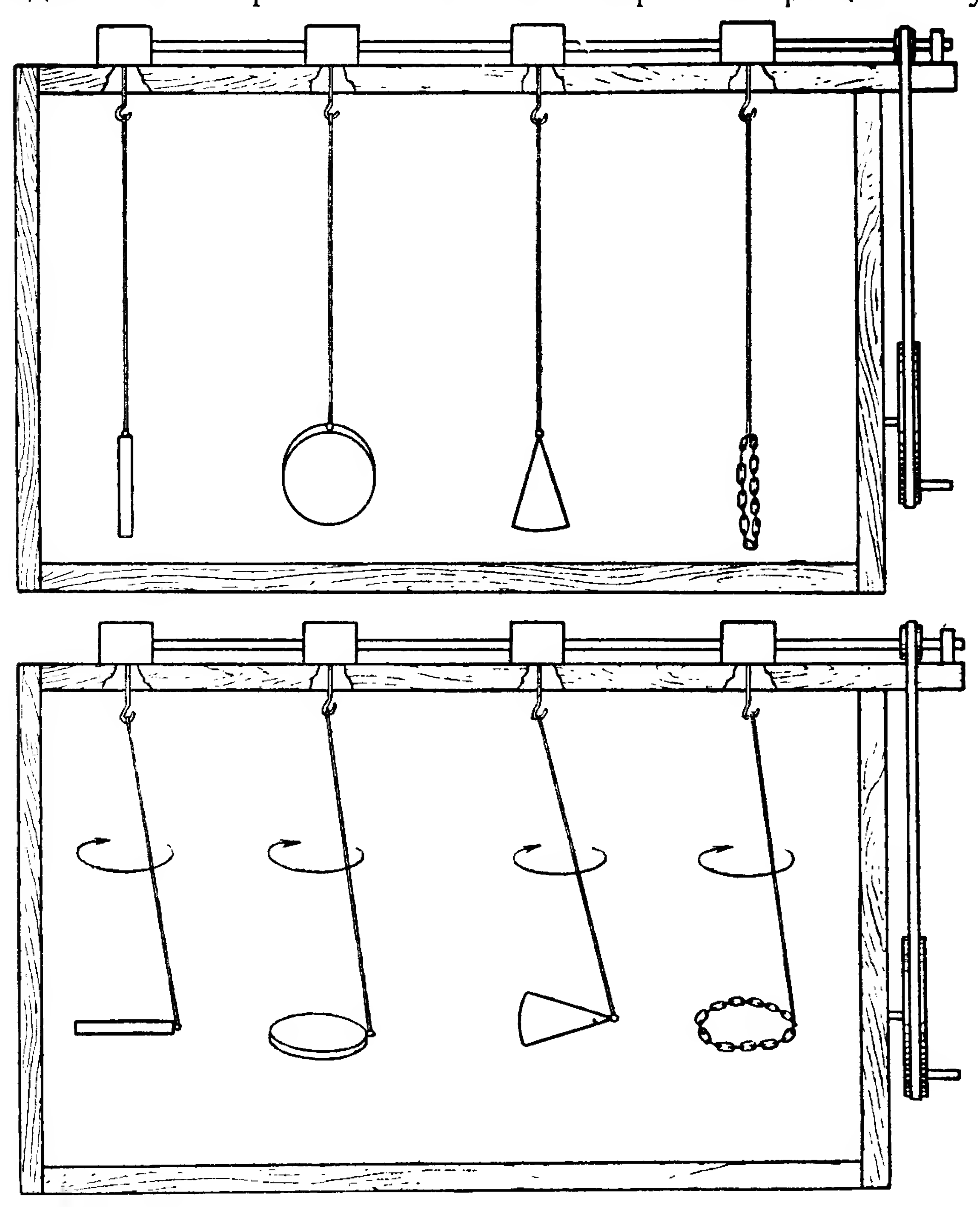


Рис. 10. Некоторые предметы, висящие в спокойном состоянии и в процессе вращения.

мажным диском можно, как пилой, разрезать более твердые тела.

Нечто подобное удается наблюдать, когда вода вытекает из пожарного ствола под давлением 75—100 атмосфер с большой скоростью. Струя жидкости, встре-

чая на своем пути более твердые тела, разрушает их. Таким способом в некоторых шахтах добывают уголь.

Нефтяники рассказывают, что из одной фонтанирующей скважины поток нефти вырывался с огромной скоростью под давлением более трехсот атмосфер. При ударе по такой струе лом отскакивал, словно от стального столба.

Струя газа, вытекающего из одной скважины, увлекая с собой частицы песка, прорезала деревянную доску и даже металлическую пластинку.

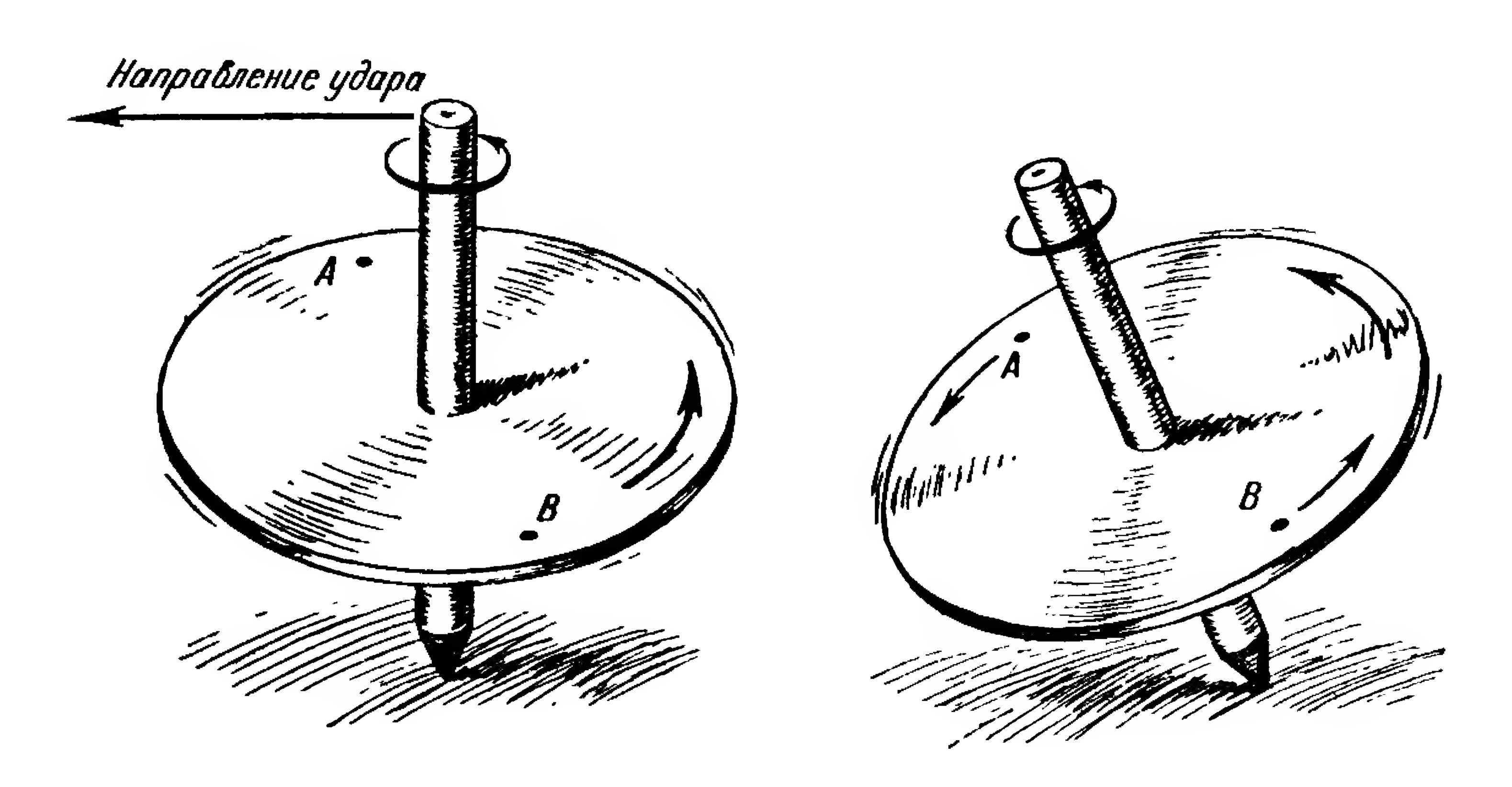


Рис. 11. Опыт с быстро вращающимся волчком.

Конькобежцам, шоферам, велосипедистам хорошо известно, как трудно внезапно остановиться или резко изменить направление своего движения.

Можно без конца приводить подобные примеры. Но уже из сказанного нетрудно сделать вывод о том, что все тела стремятся сохранять направление движения и величину скорости. Это явление называется инерцией. О существовании этого явления впервые говорил еще Галилей, но открыл закон инерции и дал ему научное обоснование Исаак Ньютон.

Закону инерции, разумеется, подчинены и тела вращения, в том числе быстро вращающийся волчок. С одной стороны, сила тяжести стремится свалить волчок, с другой стороны, сила инерции стремится сохранить первоначальный характер движения, противодействуя, таким

образом, падению волчка. Чем быстрее вращается волчок, тем больше сила инерции, тем труднее ее преодолеть.

Проследим, например, за движением точек *А* и *В* на диске волчка в тот момент, когда по его оси нанесен удар в направлении, указанном стрелкой (рис. 11). Под воздействием удара волчок наклонится влево, точка *А* на диске станет при этом двигаться вниз, а точка *В* — вверх. Однако по закону инерции обе точки, стремясь сохранить прежнее направление движения, окажут сильное сопротивление действию удара. В результате этого возникает так называемая прецессионная сила, увлекающая волчок в сторону от направления действующей силы.

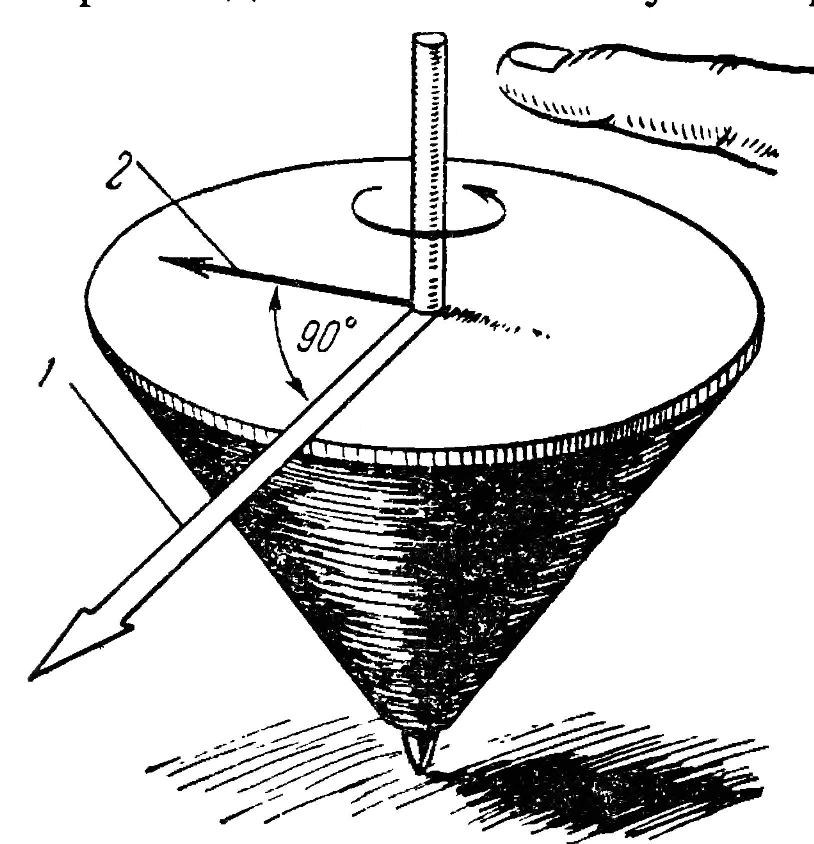


Рис. 12. Поведение быстро вращающегося волчка в случае толчка пальцем по его оси. *1* — направление силы процессии, уводящей волчок в сторону от валящей его силы; *2* — направление силы толчка.

Внимательно наблюдая за проводимым опытом, мы заметим, что волчок, вращающийся против часовой стрелки, если смотреть сверху, отскакивает всегда под прямым углом влево от направления действующей на него силы (рис. 12). Проделав подобный же опыт с волчком, вращающимся по часовой стрелке, обнаружим, что он отскакивает вправо от направления толчка также под прямым углом.

Проделав одну за другой несколько попыток свалить быстро вращающийся волчок, мы обнаружим, что при каждом толчке усиливается покачивание его оси. Наконец, оно окажется значительным. Теперь нетрудно заметить, что ось волчка описывает в пространстве определенную фигуру (рис. 13). Это так называемая прецессия волчка.

Стремление волчка устойчиво сохранять свое положение можно отчасти объяснить законом инерции. Но

легкое покачивание оси объясняется и другим важным законом механики. Попытаемся разобраться в причинах этого явления на следующем простом примере.

Покатим с какой-нибудь постоянной скоростью по горизонтальной поверхности тяжелый металлический шар, оставляющий после себя след в виде черной черты (рис. 14, *А*). Когда шар достигнет линии *ДК*, нанесем по нему быстрый удар под прямым углом к направлению движения (рис. 14, *Б*).

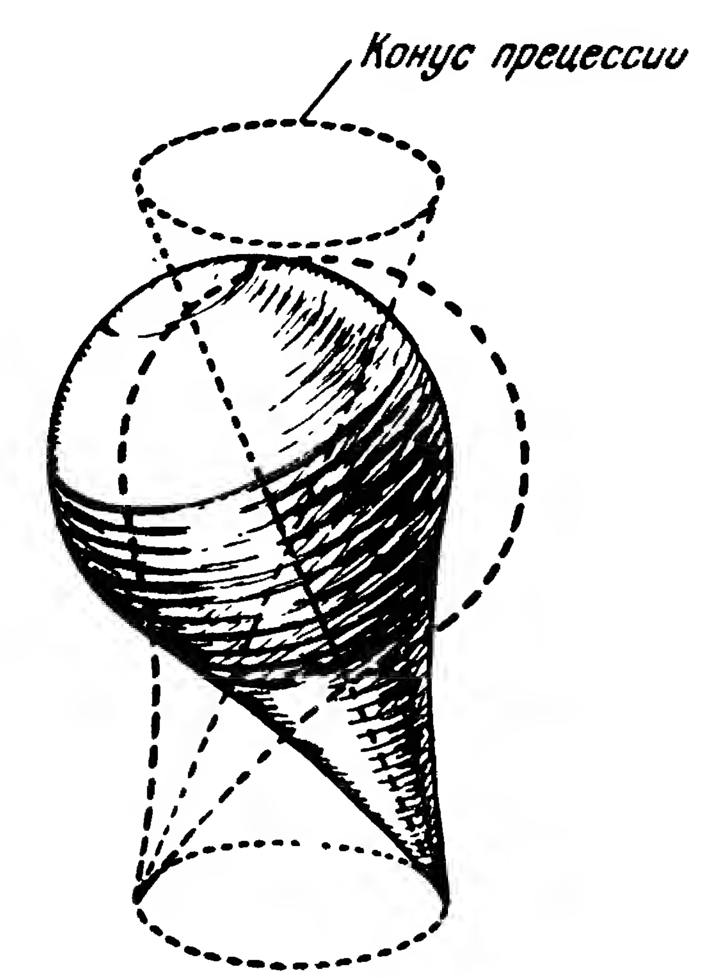


Рис. 13. Прецессия волчка.

В результате этого удара произойдет незначительное изменение первоначального направления, причем шар теперь покатится с несколько большей скоростью (рис. 14, *В*).

Если сильно увеличить скорость движения шара и затем нанести по нему удар с прежней силой, то направление движения изменится еще меньше, чем в первом случае (рис. 14, *Г*).

Проводя подобные опыты, мы в любом из них обнаружим, что всякая сила, приложенная к движущемуся телу, вызывает изменение его скорости. Это, безусловно, верно. Здесь действует второй закон Ньютона: всякая сила, приложенная к движущемуся телу вызывает изменение его скорости.

Движение быстро вращающегося волчка, разумеется, также подчиняется второму закону Ньютона. Именно поэтому ось волчка при любом воздействии на него посторонней силы всегда изменяет свое положение. Но такое изменение вследствие огромной разницы между силой, развивающейся в результате вращения, и «валящей» силой не заметно.

Таковы основные причины удивительного «поведения» волчка. Следует, однако, оговориться: целый ряд дополнительных причин остался не упомянутым, потому что дальнейшее углубление вопроса превратило бы большую часть нашей книжки в один из разделов теорети-

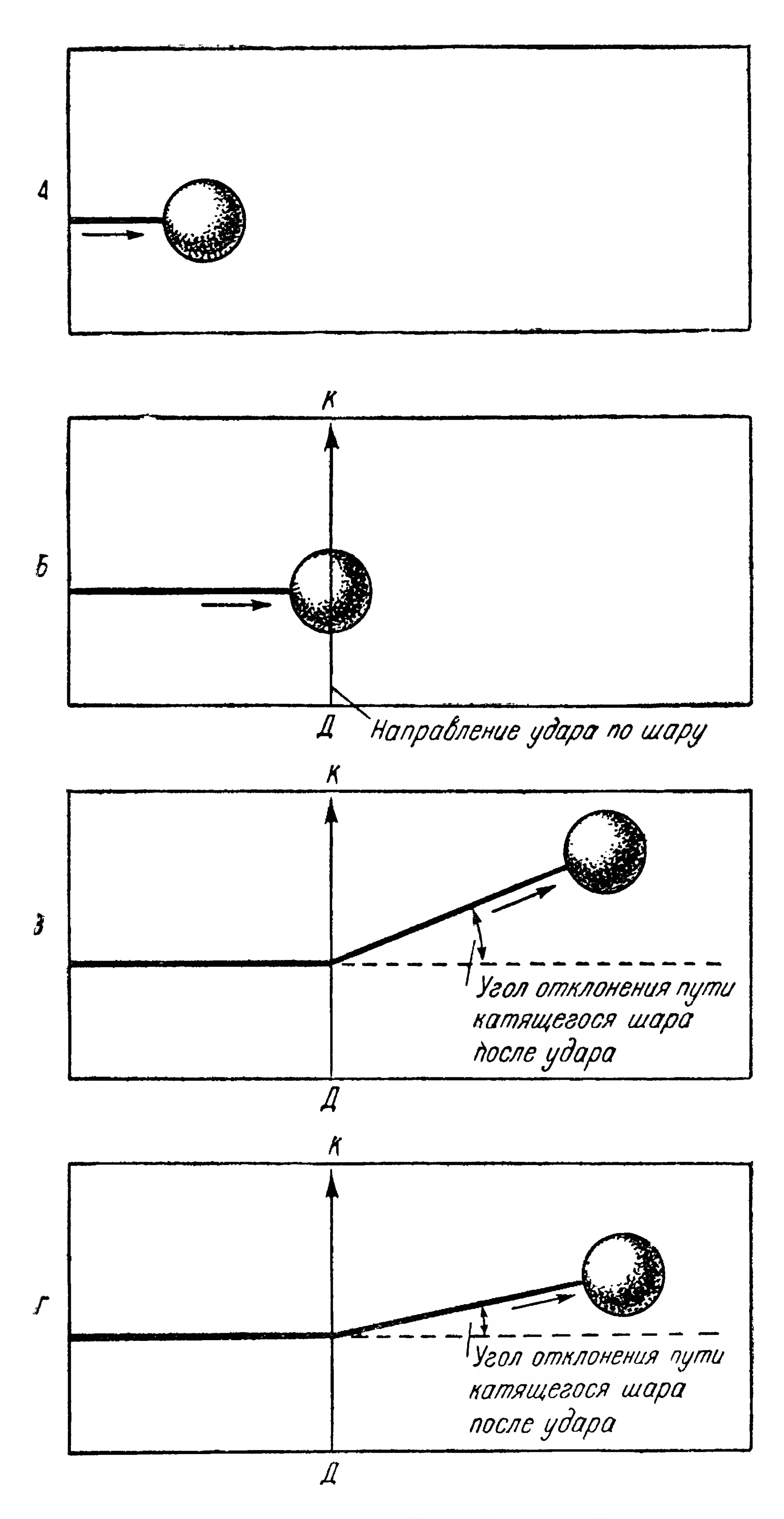


Рис. 14. Опыт с катящимся шаром.

ческой механики. Поэтому мы ограничимся лишь сказанным.

Замечательные свойства быстро вращающегося волчка — вот в чем секрет устойчивости балерины, исполняющей фуэтé. Этими же свойствами объясняются и поразительные манипуляции жонглера. Здесь мы видим умелое, однако безотчетное использование законов механики, законов вращения твердого тела вокруг неподвижной точки.

Где же еще, кроме эстрады и забавных детских игрушек, используются замечательные свойства волчка?

«СЕМЕЙСТВО» ВОЛЧКОВ

Изо дня в день, из века в век Солнце для нас, живущих на Земле, «восходит» и «заходит» в точно определенное для каждого дня и географического места время, «проходя» по точно определенному пути небосвода. Звезды на небе тоже «перемещаются» по строго определенным путям. Это видимое движение небесных тел является, прежде всего, следствием вращения Земли.

Предположим себе такой фантастический случай, когда наблюдатель находится в межзвездном пространстве против Северного полюса Земли. Отсюда он ясно видит точку воображаемой оси вращения, проходящей через полюс. Земля в течение суток, а точнее, за двадцать три часа пятьдесят шесть минут и четыре с одной десятой секунды, совершает один оборот, вращаясь против часовой стрелки.

Земля вращается практически вечно с постоянной скоростью. Это одна из главных причин того, что она устойчиво сохраняет вполне определенное положение относительно Солнца и других планет. Ось вращения Земли (ее называют еще и осью мира) постоянно направлена на Полярную звезду.

Вернемся, однако, к нашему наблюдателю, находящемуся в межзвездном пространстве. В течение дня, месяца и даже года он заметил бы лишь вращение Земли почти точно вокруг оси против часовой стрелки с постоянной скоростью — один оборот в сутки (рис. 15).

В природе каждое тело находится под сложнейшим влиянием других, иногда многих тел. Земля находится под постоянным действием сил притяжения Луны,

Солнца. На нее оказывают влияние также и планеты. Вследствие этого воображаемая ось Земли описывает правильный конус, а точка, видимая нашим фантастическим наблюдателем, описывает окружность (рис. 16). Сторона конуса составляет с этой осью угол в двадцать три с половиной градуса.

Чтобы дождаться, пока земная ось полностью опишет конус, нашему наблюдателю потребовалось бы про-

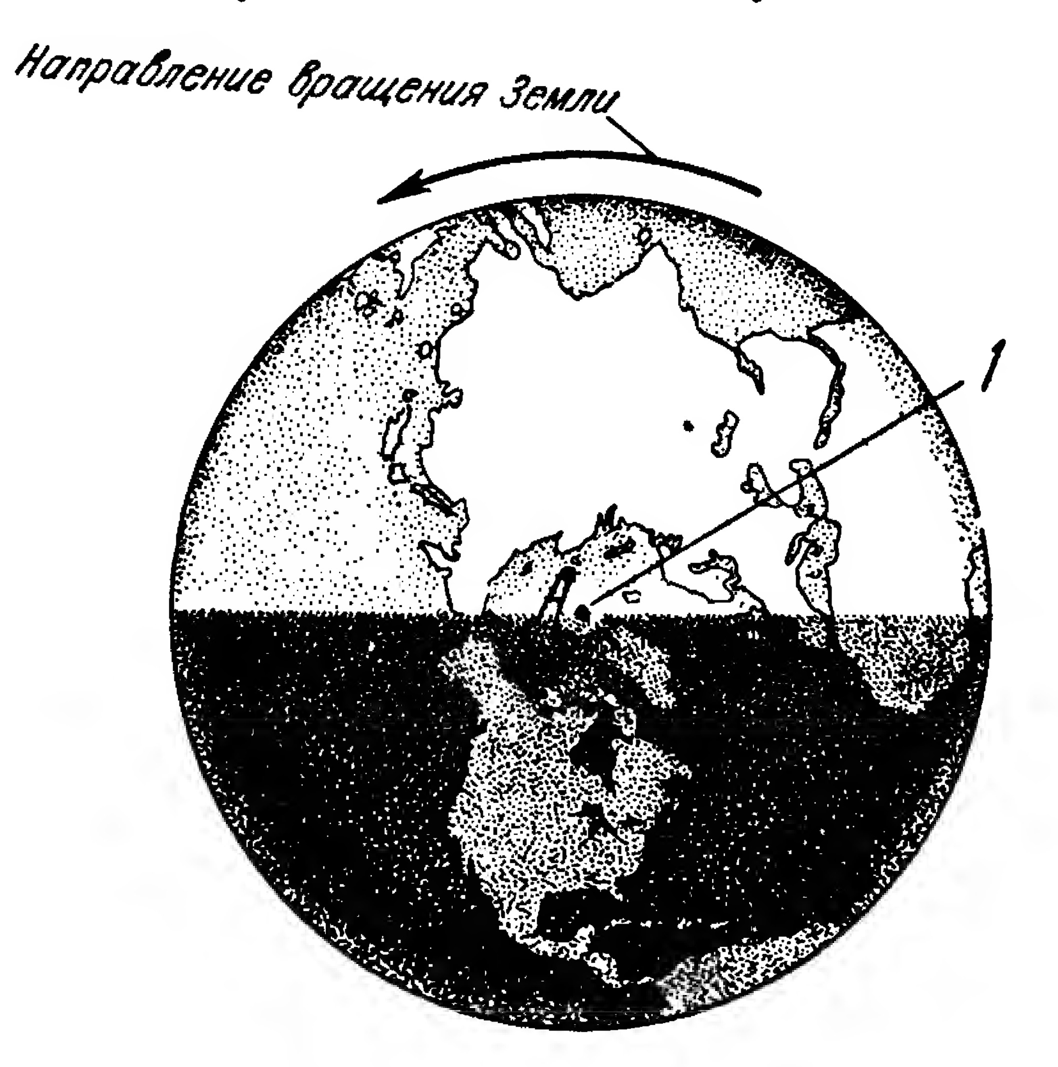


Рис. 15. Что видит фантастический наблюдатель, находящийся в космическом пространстве против Северного полюса Земли. *1* — воображаемая ось Земли (ось мира), «выходящая» на Северном полюсе, направлена на Полярную звезду.

быть в межзвездном пространстве почти двадцать шесть тысяч лет.

Изменение положения земной оси, как известно, является одной из причин, по которым меняется климат. В наши дни в северном полушарии происходит постепенное потепление летнего периода и похолодание зимнего, а в южном — наоборот. Через тринадцать тысяч лет летом в нашем полушарии станет значительно теплее, чем сейчас. Затем начнется постепенное похолодание. Изменение наклона земной оси к так называемой плоскости эклиптики, то есть к плоскости, в которой дви-

жется Земля вокруг Солнца, за ряд тысячелетий представлено на рис. 17.

Нужно сказать, что еще Л. Эйлер, руководствуясь открытым им законом вращения твердого тела, указывал на возможное изменение положения земной оси с течением времени. Но тогда проверить догадку Эйлера не было возможности. Лишь во второй половине XIX века,

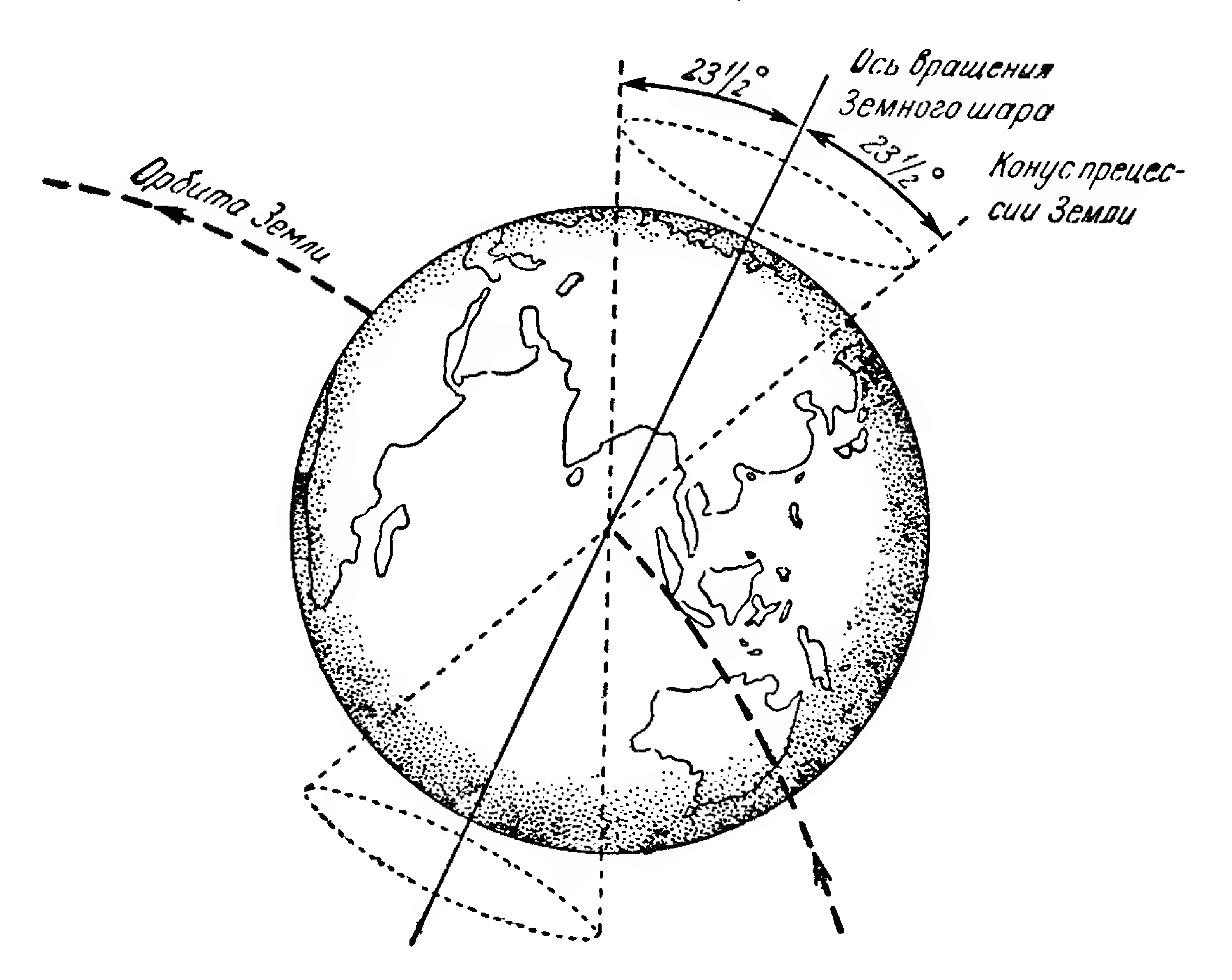


Рис. 16. Прецессия земного шара.

когда измерения стали более точными, убедились в справедливости утверждения Эйлера.

Изменение положения земной оси на протяжении тысячелетий подтверждается, например, сохранившимися до наших дней описаниями звездного неба, которое наблюдали много тысяч лет тому назад. По этим документам мы узнаем, что две тысячи лет назад звезды Большой Медведицы мерцали над южной Грецией, а сейчас оттуда их видят заходящими за горизонт. Шесть тысяч лет назад над тем местом, где сейчас расположена столица нашей Родины Москва, ярко светил Южный Крест — созвездие, ныне видимое лишь в южном полу-

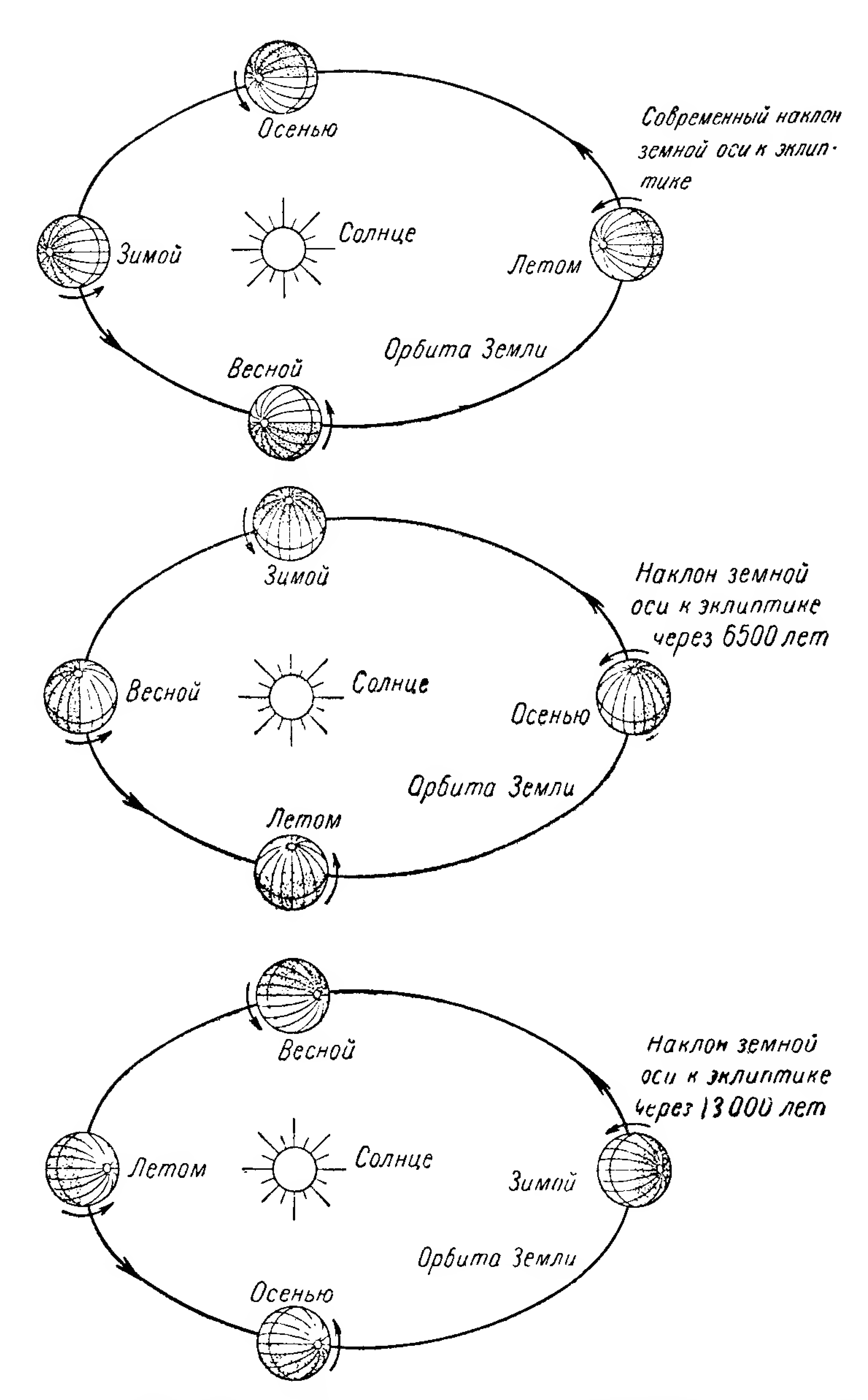


Рис. 17. Изменение наклона земной оси в пространстве под влиянием прецессии.

шарии. В наши дни над северным полушарием Земли ярко светит Сириус, прежде невидимый в этих местах.

Итак, Земля устойчиво сохраняет положение своей оси вращения в пространстве, описывая правильный конус. Это позволяет назвать земной шар гигантским волчком, а все изменения видимого звездного неба над каким-либо одним местом в течение тысячелетий — следствием прецессии нашего гигантского волчка.

С быстро вращающимися волчками, с проявлениями их замечательных свойств мы встречаемся повседневно, ежечасно. В небесной дали находится множество их. Твердые небесные тела, вращающиеся вокруг своей оси (например, планеты), обладают всеми свойствами быстро вращающихся волчков. Эти же свойства характерны для самых малых частиц вечно движущейся материи — электронов. Такие «волчки» имеются всюду, во всех телах.

ИСКУССТВЕННЫЙ ГОРИЗОНТ

Беспредельны морские и воздушные просторы. Плавая в океанах и морях, можно неделями не встретить какого-либо ориентира, по которому можно было бы определить свое местоположение. Лишь Солнце и звезды, да волны вокруг.

А безопасное плавание, своевременное прибытие к месту назначения возможны лишь в том случае, когда мореплаватель точно знает свое местоположение.

Летая над сплошными облаками или морем, пилот не видит ориентиров и не может определить своего местонахождения. Местоположение можно определить специальным прибором — секстаном, измерив высоту над горизонтом одного из небесных светил. Но горизонт часто оказывается затянутым дымкой, туманом, мглой. Значит, нужен искусственный «горизонт». Казалось бы, с этой целью можно использовать сосуд с водой. Ведь ее поверхность в спокойном состоянии всегда горизонтальна. Указателем горизонта мог бы служить также специальный инструмент, так называемый уровень (ватерпас), с воздушным пузырьком в жидкости, помещенной в стеклянную трубочку, или, еще проще, подвешенный шнурок с грузом. Шнурок с грузом будет направлен к центру Земли, или, как говорят, по истинной вертикали. А она всегда перпендикулярна к плоскости горизонта.

На стоянке корабля и самолета все эти приборы будут действовать безошибочно. Но на движущемся корабле или самолете они не покажут истинного горизонта. Определение высоты светила с помощью таких устройств окажется неправильным. Для этого необходимо более совершенное устройство искусственного горизонта.

И вот возникла идея использовать для создания искусственного горизонта волчок. Эту идею высказали уже в середине XVIII столетия.

Рассказывают, что первую удачную конструкцию искусственного горизонта предложил в 1742—1743 гг. английский механик Серсон. Основой этого прибора являлся волчок в виде большого отполированного диска с заострением в центре. Верхняя поверхность диска была тщательно отполирована до такой степени, что предметы отражались в ней, как в зеркале. Волчок Серсона запускался от руки. Поэтому продолжительность его вращения оказалась небольшой. К тому же он не выдерживал качки.

Существенное усовершенствование в это изобретение внес английский механик Дж. Грехем, предложив запускать волчок раскручиванием намотанного на его ось шнурка. Уже одно это сделало прибор Серсона более пригодным для пользования.

Вначале Адмиралтейство отказывалось испытывать искусственный горизонт Серсона, усовершенствованный Дж. Грехемом. Но затем в том же 1743 г. его подвергли всесторонним испытаниям при плавании яхты в Ла-Манше. Испытания оказались успешными. Предложенная конструкция искусственного горизонта получила одобрение.

Вслед за этим Адмиралтейство отправило изобретателя Серсона в плавание на корабле «Виктория» для дальнейших детальных испытаний. К сожалению, результаты их остались неизвестными. Корабль со всем экипажем и изобретателем искусственного горизонта погиб во время шторма. Считали, что это произошло по вине испытывавшегося прибора.

Происшедшая катастрофа создала непреодолимые затруднения для Дж. Грехема, создавшего новый вариант искусственного горизонта.

Практическое использование этой, по существу верной, идеи стало реальным лишь почти через сто пять-

десят лет, в 1886 г., когда француз Флерие предложил очень компактный искусственный горизонт.

В то время во Франции за изобретения и открытия, способствующие успехам мореплавания, была установлена специальная премия. Флерие за созданный им ис-

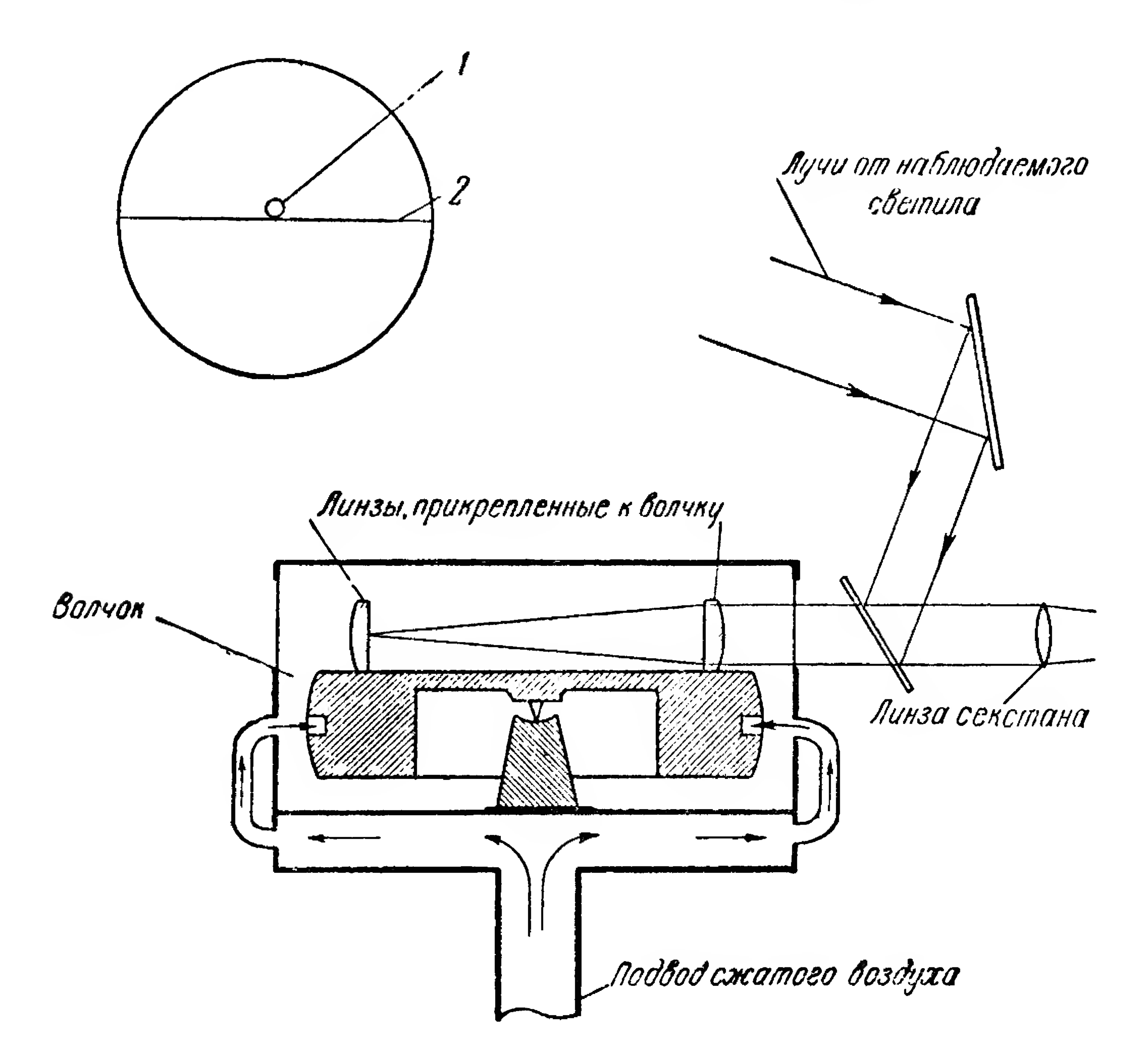


Рис. 18. Схема устройства искусственного горизонта, применяемого в секстане. 1 — светило, видимое в окуляре секстана на линии искусственного горизонта; 2 — линия искусственного горизонта (штрих, нанесенный на линзах).

кусственный горизонт получил премию удвоенных размеров. Предложенная им конструкция действительно заслуживала этого, будучи очень удобной и прекрасно действующей в условиях качки.

Прибор Флерие несложен. Устройство его нетрудно понять, обратившись к рисунку 18.

Волчок запускается струей сжатого воздуха и вращается со скоростью десять тысяч оборотов в минуту. На диске волчка укреплены две плоско-выпуклые линзы, отстоящие одна от другой на их фокусном расстоянии.

На плоской поверхности каждой линзы нанесено по тонкому горизонтальному штриху. Когда плоскость быстро вращающегося волчка совпадает с истинным горизонтом, штрихи на линзах наблюдатель видит слившимися в одну линию. Чтобы определить широту места, надо, перемещая лимб*) особой подзорной трубы секстана, привести отражение наблюдаемого светила в соприкосновение с этой линией. Тогда на секстане окажется зафиксированной высота светила (рис. 18).

При несовпадении поверхности волчка с истинным горизонтом наблюдатель видит в трубе секстана штрихи то наклонными, то горизонтальными, но не совпадающими.

«А ВСЕ-ТАКИ ОНА ВЕРТИТСЯ!»

Вопрос о том, обращаются ли планеты и Солнце вокруг Земли или, наоборот, Земля вращается вокруг своей оси и вокруг Солнца, занимал многих ученых на протяжении ряда столетий.

Спорившие основывались только на наблюдениях окружающего мира и на предположениях. Много было различных предположений, гипотез, теорий. Из них заслуживают внимания две: теория Птолемея и теория Коперника.

Теория Птолемея заслуживает внимания потому, что хотя она и была неверной, но долгое время являлась почти общепризнанной. Птолемей утверждал, что все светила, все планеты обращаются вокруг Земли. Земля — центр мироздания. Поэтому теорию Птолемея называли геоцентрической. Церковники поддерживали теорию Птолемея: ведь по библейской легенде о сотворении мира якобы бог создал все светила для того, чтобы они светили и обогревали Землю и живущих на ней.

В корне неверную теорию Птолемея опровергла теория, созданная позднее Коперником. По его теории центр мира — Солнце. Вокруг него обращаются планеты, в том числе и наша Земля. Каждая из планет, кроме того, вращается вокруг собственной оси, направление которой в пространстве практически сохраняется неизменным. Поскольку по теории Коперника центром

*) Круг с градусными делениями.

мира является Солнце, она называется гелиоцентрической.

Многие ученые, поддерживавшие теорию Коперника, подвергались гонениям, преследованиям со стороны церкви. Джордано Бруно, например, был сожжен на костре в Риме за свои якобы еретические мысли. Галилео Галилей почти всю жизнь подвергался преследованиям со стороны инквизиции. Галилею якобы принадлежит фраза «а все-таки она вертится», сказанная им в ответ на требование инквизиторов признать ошибочность его взглядов.

Современная наука подтверждает, что Земля вращается вокруг своей оси со скоростью одного оборота в сутки, то есть за двадцать четыре часа. Эта, сейчас уже неоспоримая истина долгое время оставалась основанной лишь на умозаключениях и астрономических наблюдениях.

Ученые издавна стремились доказать вращение Земли путем какого-либо лабораторного опыта. Первой вполне удачной попыткой такого доказательства был общеизвестный опыт знаменитого французского ученого Леона Фуко с маятником, осуществленный в Парижском Пантеоне в 1851 г. Этот опыт можно наблюдать и у нас в Исаакиевском соборе в Ленинграде.

Знаменитый физик, однако, не ограничился одним опытом. В 1852 г. он докладывает Парижской Академии наук о новых опытах и демонстрирует прибор гироскоп, что означает «указатель вращения». Очевидно, Фуко имел в виду вращение Земли. Гироскоп в переводе с греческого означает: гирос — круг, кольцо; скопео — наблюдаю, смотрю. Кроме этого, Л. Фуко открыл и сформулировал основные свойства гироскопа, которые широко используются в современной технике. В гироскопе Л. Фуко имелся своеобразный волчок — ротор, ось которого могла вращаться на двух подшипниках, закрепленных в кольце. Это кольцо в свою очередь вращалось на подшипниках во втором, внешнем кольце. Последнее было подвешено на тонкой незакрученной нити к специальной станине (рис. 19). При быстром вращении ротор этого гироскопа обнаруживал замечательные свойства: его ось сохраняла неизменным свое положение в пространстве; будучи направлена на какую-либо звезду, она как бы следила за ее перемещением, «двигалась»

вместе с нею. Конечно, на самом деле перемещалась не звезда и не ось гироскопа, а Земля. Так Л. Фуко использовал замечательное свойство гироскопа как одно из доказательств вращения Земли.

Однако в гироскопе Л. Фуко ось ротора не точно следовала за какой-либо звездой, поэтому нельзя было уверенно утверждать о бесспорной удаче опыта.

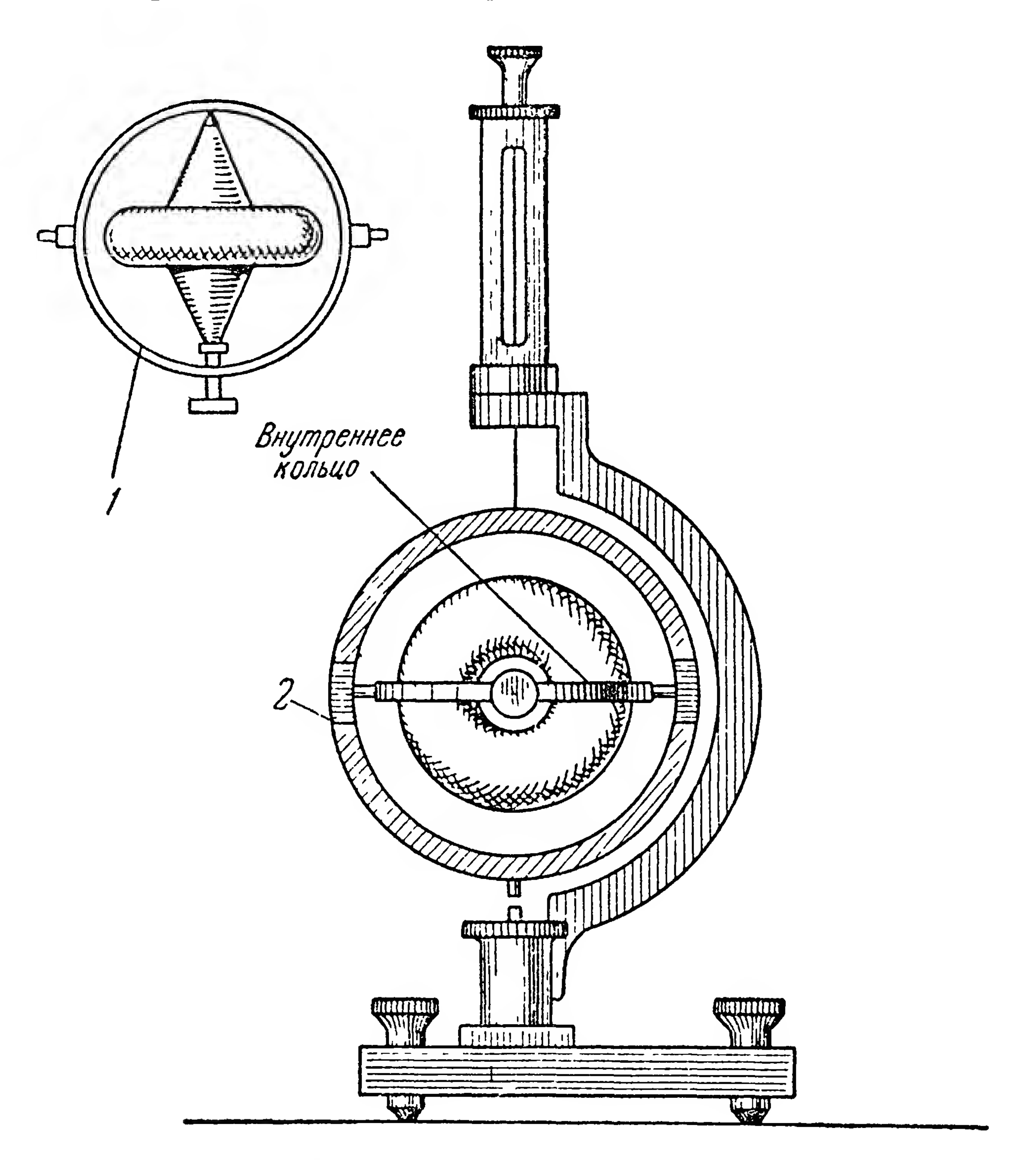


Рис. 19. Гироскоп Леона Фуко. *1* — ротор гироскопа во внутреннем кольце; *2* — наружное кольцо гироскопа.

Причина неудачи крылась не в принципиальной ошибке, совершенной ученым, а в конструктивных недостатках его гироскопа. Дело в том, что ротор приводили в действие с помощью шнура, накрученного на его ось. А это не позволяло получить достаточно большое число оборотов ротора в продолжение длительного времени. Вращение не могло быть строго равномерным из-за не-

достаточной уравновешенности ротора и значительного трения в подшипниках.

Опыт Л. Фуко более успешно проделал ученый А. Феппль, устроив гироскоп с двумя электромоторами, развивающими 2400 оборотов в минуту.

В современном, широком понятии гироскопом называют устройство, в котором используются своеобразные,

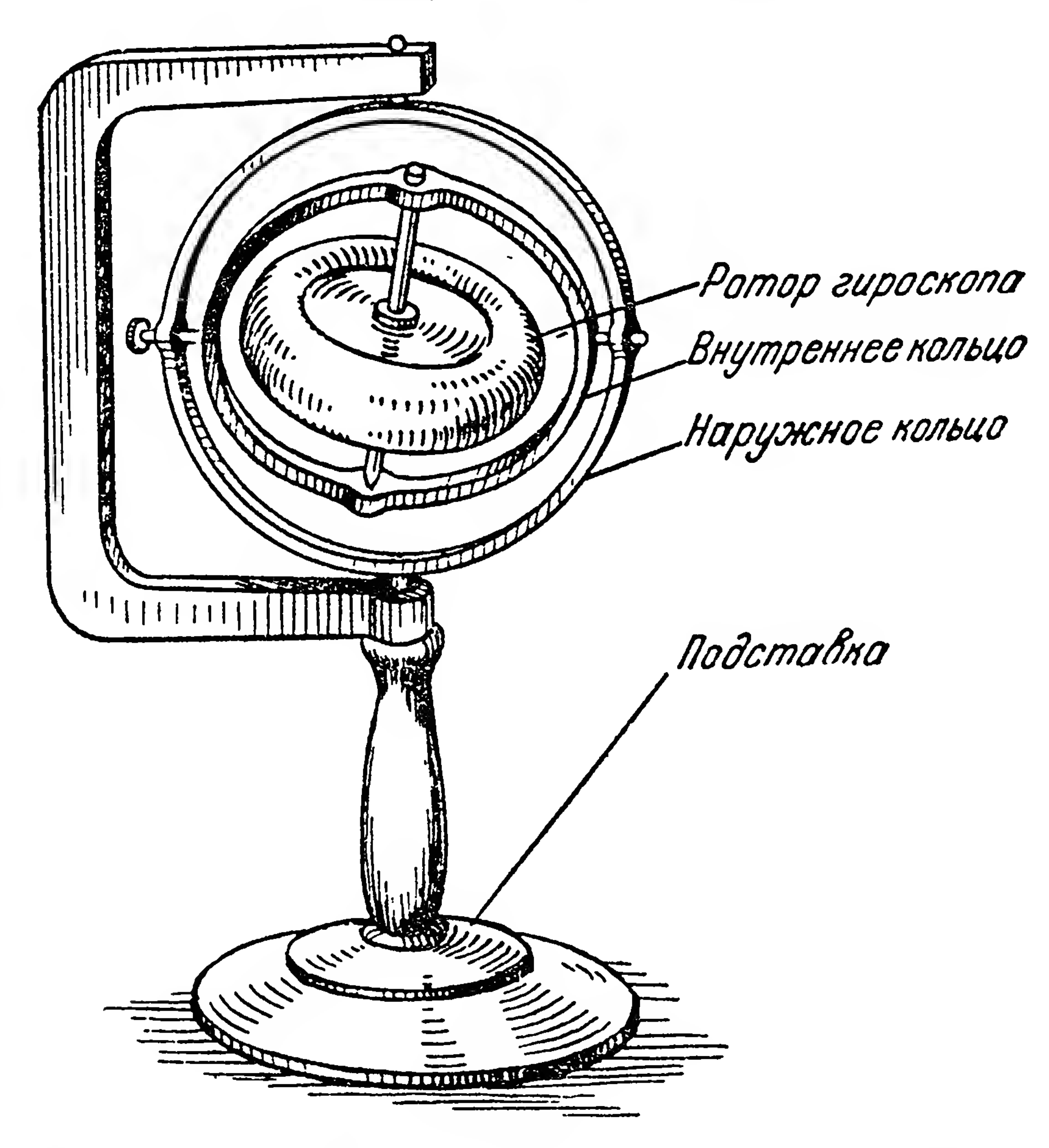


Рис. 20. Гироскоп с тремя степенями свободы.

так называемые «гироскопические» свойства быстро вращающегося ротора.

Современный гироскоп конструктивно во многом отличается от волчка. Он состоит из ротора, опирающегося концами оси на внутреннее кольцо. Наружное кольцо, находясь в специальной опоре, может поворачиваться вокруг вертикальной оси; внутреннее кольцо покоится в наружном и свободно поворачивается вокруг горизонтальной оси, а ротор, опирающийся своей осью на внутреннее кольцо, может свободно вращаться вокруг оси (рис. 20).

Гироскоп, как мы видим, способен совершать движение в трех направлениях. Поэтому его называют гиро-

скопом с тремя степенями свободы. Если закрепить одно из колец, то получится гироскоп, способный совершать движение в двух направлениях. Такое устройство называют гироскопом с двумя степенями свободы.

Хотя конструктивно гироскоп отличается от обычного волчка, сходство их свойств настолько велико, что в тех-

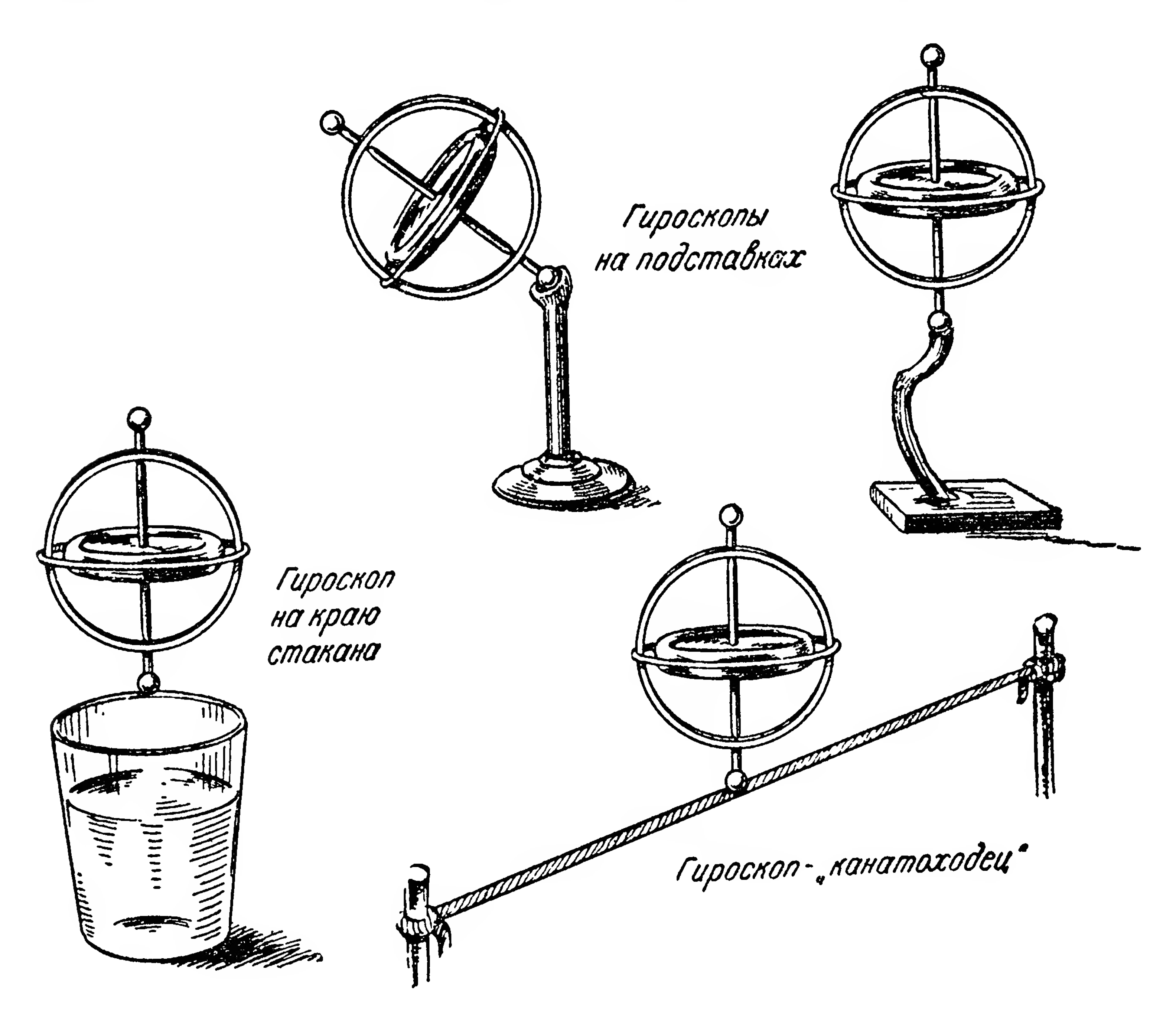


Рис. 21. Примеры устойчивости гироскопа.

нике гироскоп часто называют волчком и, наоборот, волчок — гироскопом. Ведь гироскоп — тоже твердое тело, которое вращается вокруг оси симметрии, имеющей неподвижную точку.

Быстро вращающийся ротор гироскопа, как и волчок, обладает способностью устойчиво сохранять свое положение в пространстве, «уходить» под прямым углом к действующей на него силе, совершать прецессию и т. п.

Возьмем, например, гироскоп с быстро вращающимся ротором, представленный на рис. 21. Он обнаруживает удивительные, невероятные на первый взгляд свойства.

Его ось проявляет необычную устойчивость, сохраняя свое положение, например, опираясь регулировочным штифтом о край стакана или на туго натянутый шнур.

Попытавшись свалить его, казалось бы, из неустойчивого положения, мы потерпим неудачу. Слегка качнувшись, гироскоп сохранит приданное ему ранее положение, заметно сопротивляясь прилагаемым усилиям. Но вот ротор прекратил вращение. И как по мановению волшебной палочки, гироскоп теряет устойчивость, превращается в безжизненный кусок металла.

О том, как используют замечательные свойства гироскопа в технике, мы сейчас и расскажем.

ВОЛЧОК В КОСМОСЕ

Недалек день, когда межпланетные корабли устремятся на штурм вселенной. О полетах на Луну, Марс, Венеру и другие планеты сейчас не только мечтают. Это дело ближайших лет. Немало самых различных машин, механизмов и приборов потребуется создать для осуществления этой многовековой мечты человечества.

Среди них, безусловно, займет почетное место и гироскоп. Его можно будет использовать, например, чтобы определять положение межпланетного корабля.

Мы уже знаем замечательную способность гироскопа сохранять направление своей оси неизменным. Установив в момент отлета ось по направлению Солнца, космонавты оставят гироскоп в таком положении. Теперь, чтобы определить курс межпланетного корабля, потребуется лишь измерить угол между направлением оси гироскопа и направлением на Солнце в момент наблюдения.

СНАРЯД-ГИРОСКОП

Продолговатый снаряд, выпущенный из гладкоствольной пушки, летит, опрокидываясь и кувыркаясь. Это резко уменьшает дальность его полета, снижает меткость попадания (рис. 22, *А*).

Другое дело, когда стрельба ведется из пушки с нарезным стволом. Снаряд, выпущенный из нее, вращается вокруг оси с довольно большой скоростью, совершая несколько сот оборотов в секунду.

«Поведение» такого снаряда зависит от среды, в которой совершается полет. На высоте более двадцати километров, где сопротивление воздуха из-за его малой плотности ничтожно, снаряд ведет себя подобно быстро вращающемуся гироскопу, стремящемуся точно сохранить направление своей оси (рис. 22, *Б*). В обычных же

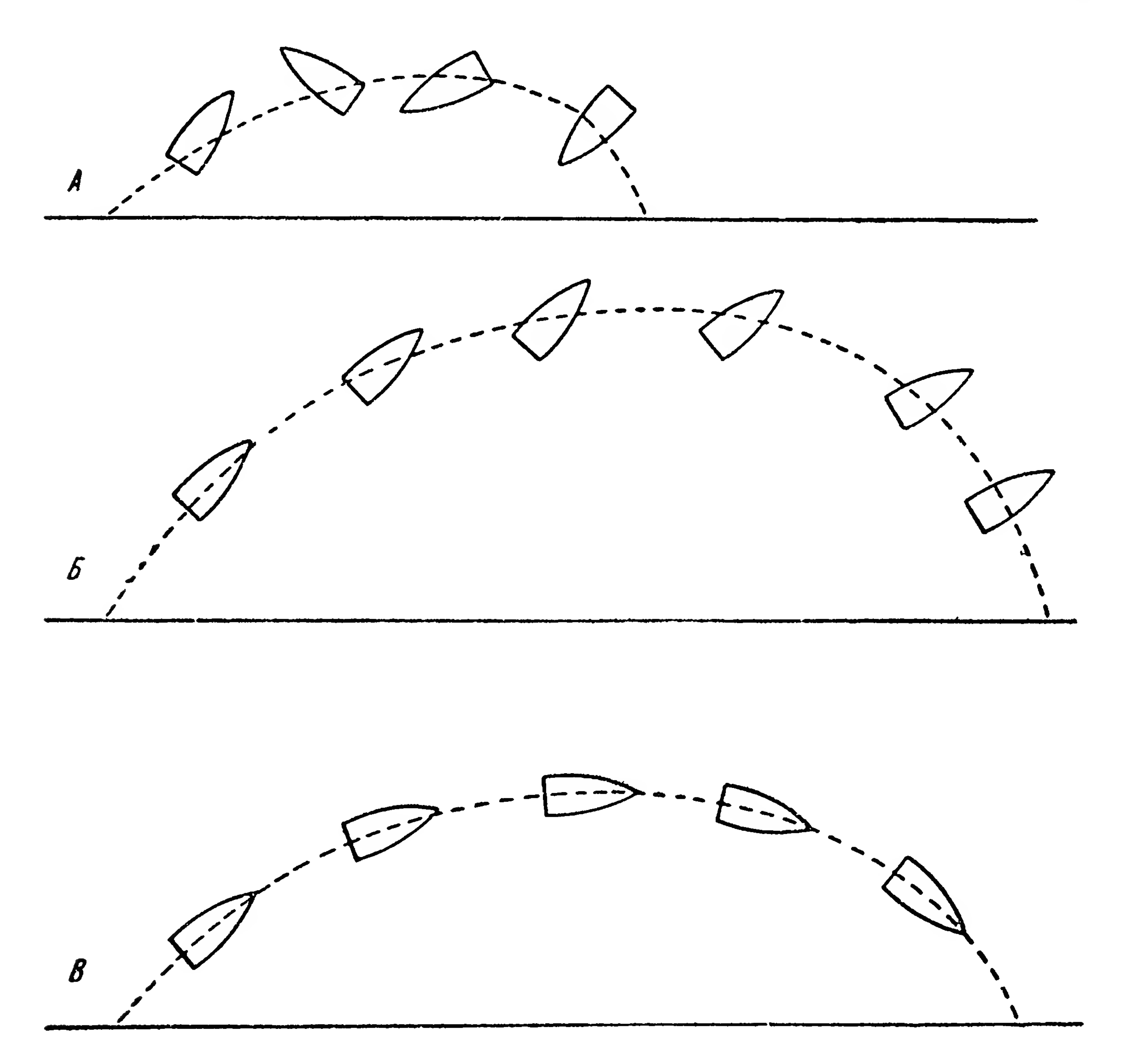


Рис. 22. Траектории полета снаряда.

атмосферных условиях снаряд летит головной частью вперед, точно описывая центром тяжести траекторию (рис. 22, *В*). Такому полету вращающегося снаряда в описываемом случае способствует сопротивление воздуха.

В общем вращающийся снаряд приобретает большую устойчивость, что повышает точность стрельбы. При одинаковом весе заряда, длине ствола и т. п. дальнобойность нарезной пушки значительно выше, чем гладкоствольной.

ТОРПЕДА И ГИРОСКОП

Наиболее грозный современный подводный снаряд — самодвижущаяся торпеда. Создал ее известный русский изобретатель Иван Федорович Александровский. Впервые в мире торпеда прошла успешные испытания в

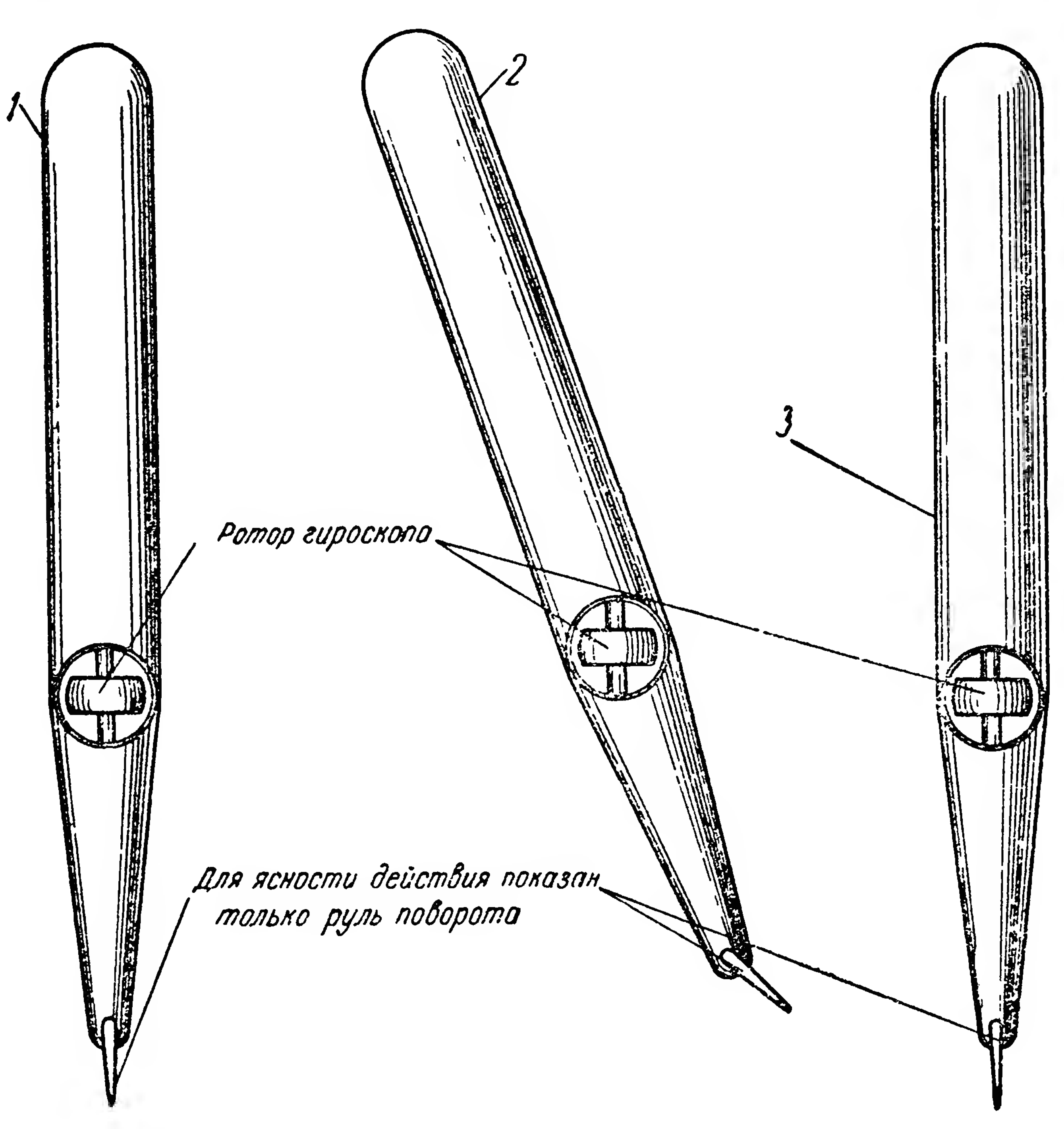


Рис. 23. Схема действия гироскопа в торпеде. 1 — торпеда идет на цель; 2 — торпеда отклонилась от заданного курса; 3 — торпеда снова легла на прежний курс.

1857 г. вблизи Кронштадта. Торпеда, созданная Александровским, несмотря на успешные испытания, к сожалению, не привлекла внимания военных чиновников, признававших только «заграничное». Для русского флота за огромные деньги приобрели «секрет» торпеды у английского промышленника Уайтхеда.

Торпеда, выпущенная с корабля, двигалась к цели — судну противника, в которое производился выстрел. Од-

нако торпеда очень часто сбивалась с заданного направления волной или течением. Этот недостаток торпеды был устранен лишь в 1898 г., когда австрийский офицер Обри предложил применить гироскоп для автоматического управления ее вертикальными рулями.

Принцип действия устройства, предложенного Обри, несложен. В момент выстрела ось гироскопа автоматически устанавливается по ходу торпеды, а струя сжатого воздуха, попадая в лункообразные углубления на окружности ротора, приводит его в быстрое вращение (рис. 23, *1*). Кольцо гироскопа связано с клапаном — золотником, через который подается воздух к механизму управления вертикальным рулем. В тот момент, когда торпеда под влиянием внешних сил, изменив направление, как бы поворачивается вокруг гироскопа, сохранившего свое первоначальное положение (рис. 23, *2*), в механизм управления вертикальным рулем поступает сжатый воздух. Под влиянием его вертикальный руль устанавливается таким образом, чтобы торпеда «возвратилась» на установленный курс. Когда торпеда начинает двигаться в прежнем направлении, руль возвращается в нейтральное положение (рис. 23, *2* и *3*). На таком принципе основаны и другие, более сложные устройства, например так называемый гирорулевой, осуществляющий автоматическое управление кораблем.

Замечательное свойство быстро вращающегося гироскопа сохранять неизменным свое положение в пространстве широко применяется и в авиации.

СЛЕПОЙ ПОЛЕТ

Пройти по прямой линии с завязанными глазами невозможно. Идущий постепенно заворачивает в сторону.

На одном большом аэродроме в 1926 г. летчики пытались с завязанными глазами управлять автомобилем. Совершив в пути несколько поворотов, автомобиль начинал двигаться по спирали.

Разумеется, никто всерьез не станет управлять автомобилем или самолетом с завязанными глазами. Но представим себе полет в тумане, в сплошной облачности, когда самолет словно погружен в молоко или окутан непроницаемой пеленой. Чем отличается такой полет от путешествия человека с завязанными глазами? Полет в

тумане, сплошной облачности недаром называют слепым полетом.

Даже птицы не могут летать, не видя Земли. Они не обладают какими-то особыми «летными качествами». Выпущенная в полет с завязанными глазами или в сплошном тумане, птица немедленно переходит в штопор либо беспорядочно падает.

Что же получится, если самолет встретит на своем пути сплошную облачность или туман и будет вынужден в таких условиях продолжать полет? Отличается ли че-

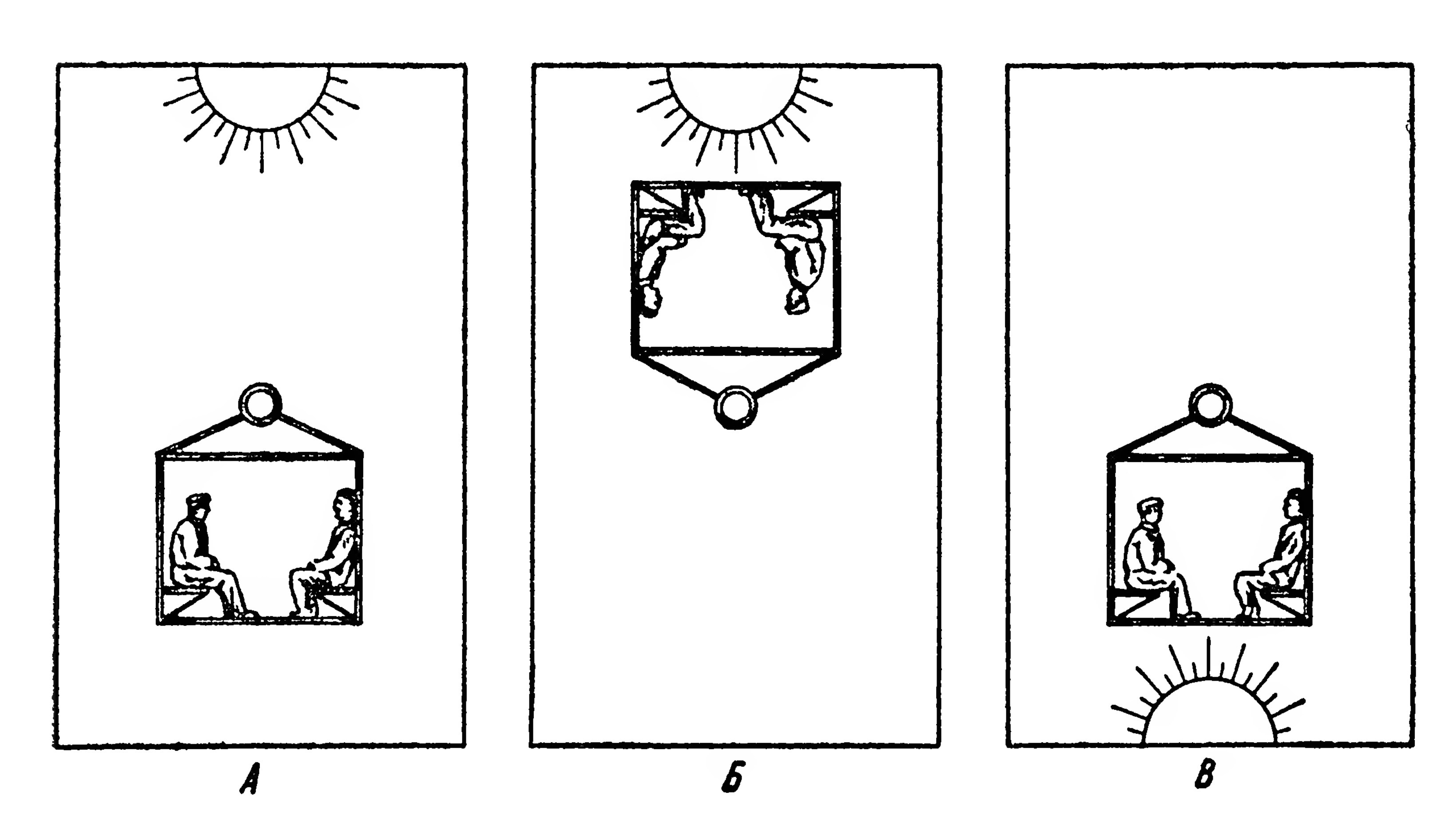


Рис. 24. Вращающаяся комната.

ловек от птицы, оказавшись в таких условиях? Может ли он руководствоваться своими ощущениями?

Чтобы получить ответ на эти вопросы, обратимся к нескольким примерам.

В некоторых парках культуры и отдыха имеется аттракцион «вертящаяся комната». Любители острых ощущений, входя в такую комнату, садятся на качели. Качели слегка раскачиваются, после чего включается двигатель, вращающий стены комнаты. Сидящим в качелях кажется, что вращаются не стены, а они сами и что в некоторые моменты времени качели занимают положение *Б*, показанное на рисунке 24. На самом деле посетители не совершают головокружительного переворота ногами к потолку, а спокойно сидят в почти неподвиж-

ных качелях. Просто комната расположилась иначе, чем было до этого (положение *В* на рис. 24).

Еще более сильное ощущение можно испытать в непрозрачном вращающемся шаре. Предположим, что в нем находятся два человека, как изображено на рис. 25, *А*. К немалому изумлению находящихся в шаре, каждому кажется, что его сосед прилип где-то на вертикальной стене, словно муха (рис. 25, *Б*).

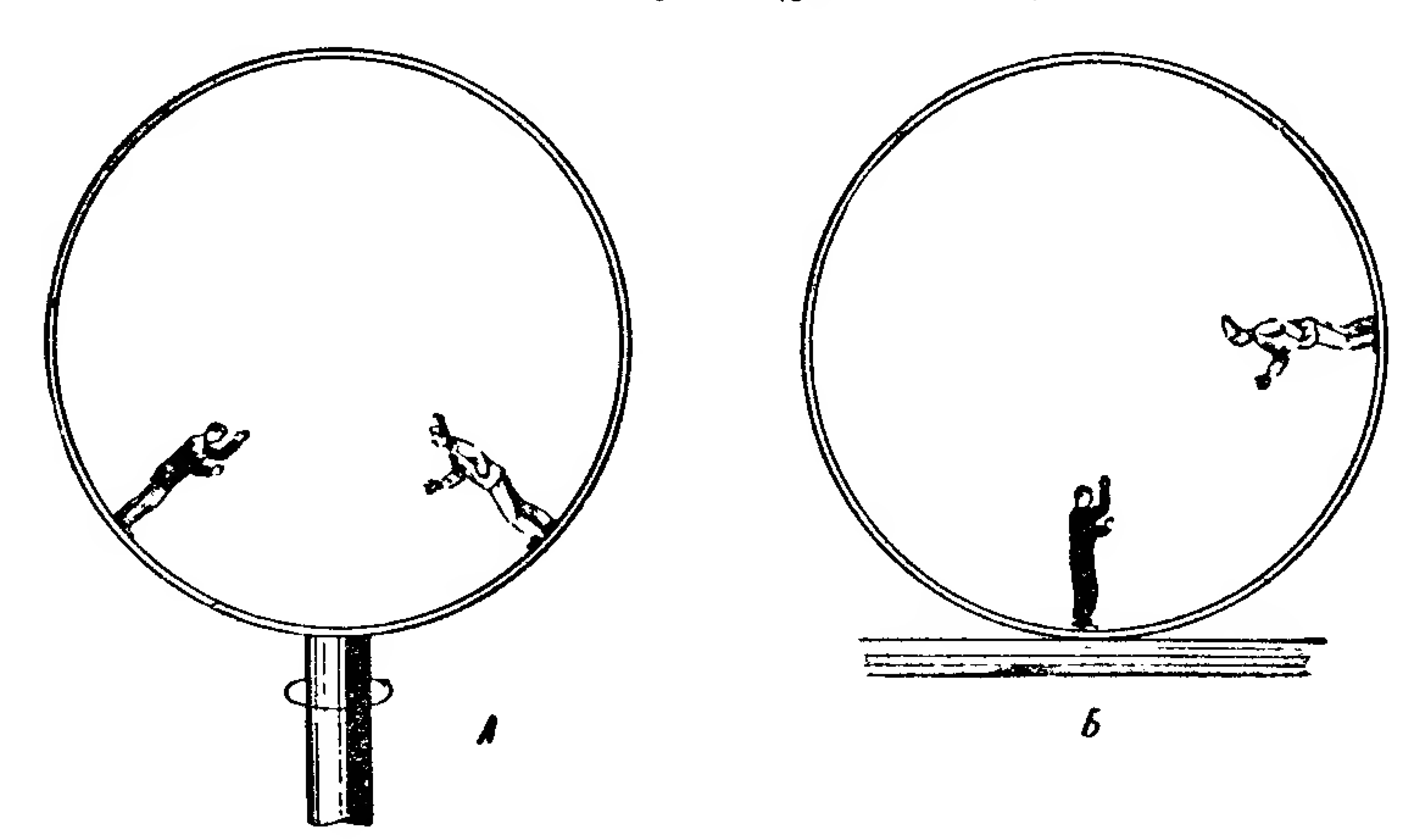


Рис. 25. Что происходит в действительности и что кажется людям в закрытом вертящемся шаре.

Приведенные примеры наглядно показывают, что доверять ощущениям нельзя. Но, может быть, к летчикам это не относится?

Обратимся к рассказу одного американского летчика о том, что случилось с ним при полете в облаках.

«Оторвавшись от аэродрома, мы поднялись на высоту тысяча восемьсот футов (550 *м*), где вошли в грозовые тучи, сквозь которые я намеревался пройти вверх. Я попытался это сделать и, поднявшись приблизительно в пять минут на высоту около трех тысяч восьмисот футов (1160 *м*), считал, что нахожусь примерно над Голливудскими холмами. В это время я почувствовал струю воздуха на левой щеке, что означало для меня, что я скольжу на левое крыло. Посмотрев на указатель крена и поворота, я, к своему изумлению, увидел, что стрелка и шарик переместились направо; другими словами, при-

бор показывал, что правое крыло опущено и что самолет делает поворот направо. Так как мой компас указывал правильный курс, а этого, как мне казалось, быть не могло, что подтверждалось и струей воздуха, ударяющей в мою левую щеку, то я немедленно попытался выровнять самолет, подняв левое крыло, но безуспешно. Тогда, думая, что самолет потерял скорость и потому не слушается рулей, я немедленно дал ручку от себя, чтобы увеличить скорость. В это время мне показалось, что я скольжу на хвост влево; я выключил мотор и попытался перевести самолет в нормальное планирование. Когда же и это не удалось, я крикнул своему спутнику: „Выбрасывайся!“ и выпрыгнул сам».

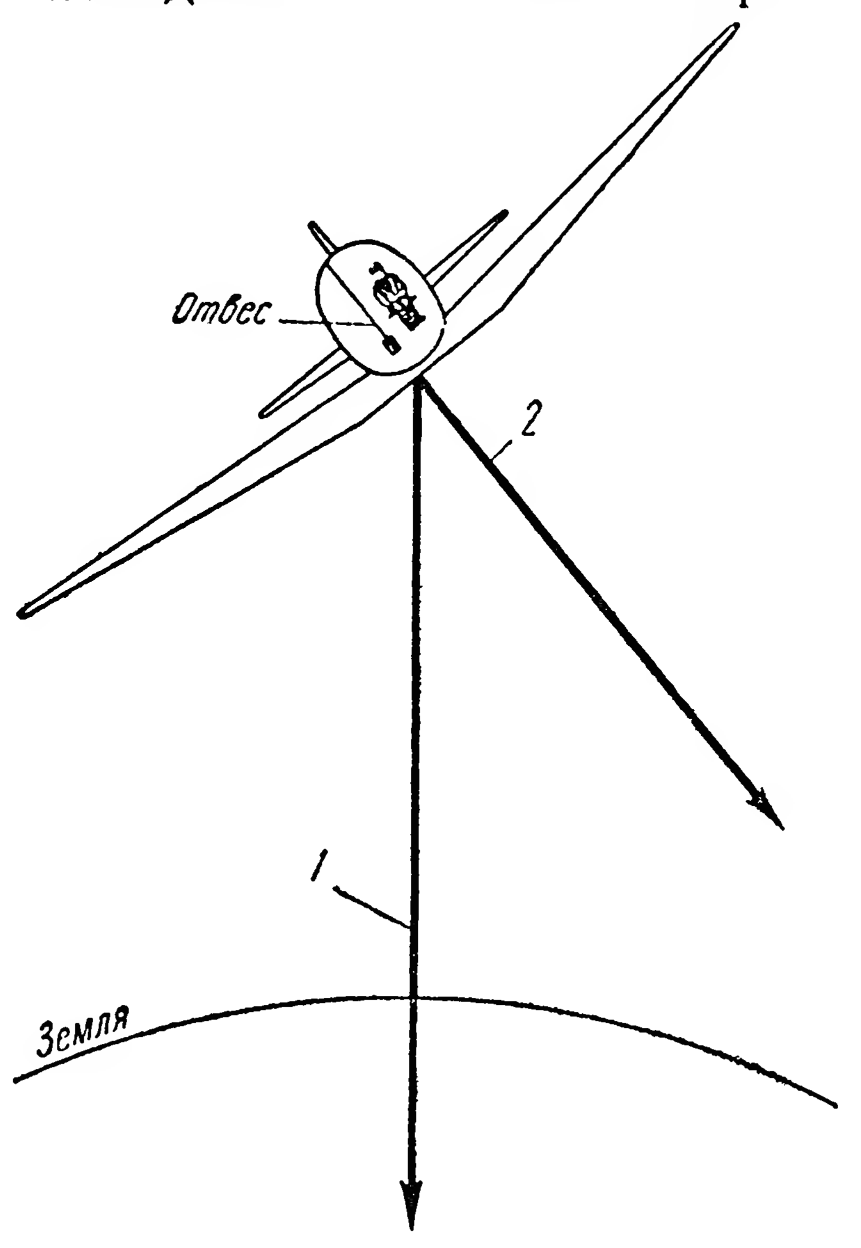


Рис. 26. Направление кажущейся вертикали на самолете, совершающем вираж. 1 — направление силы тяжести на Земле — направление истинной вертикали, 2 — направление силы тяжести, ощущаемой человеком, и направление отвеса в полете при вираже — направление кажущейся вертикали.

Доверять ощущениям в слепом полете ни в коем случае нельзя. Единственное средство для успешного слепого полета — специальные приборы.

Безошибочно совершать полеты в любую погоду, уверенно управлять самолетом в любой обстановке, точно знать положение самолета в пространстве помогают многие приборы. Принцип действия большинства из них основан на замечательных свойствах гироскопа. Одним из таких приборов является авиагоризонт. Без него даже в ясную ночь, когда видна Земля, недопустим полет на скоростном самолете. Этот прибор совершеннее обычного искусственного горизонта и устроен несколько иначе.

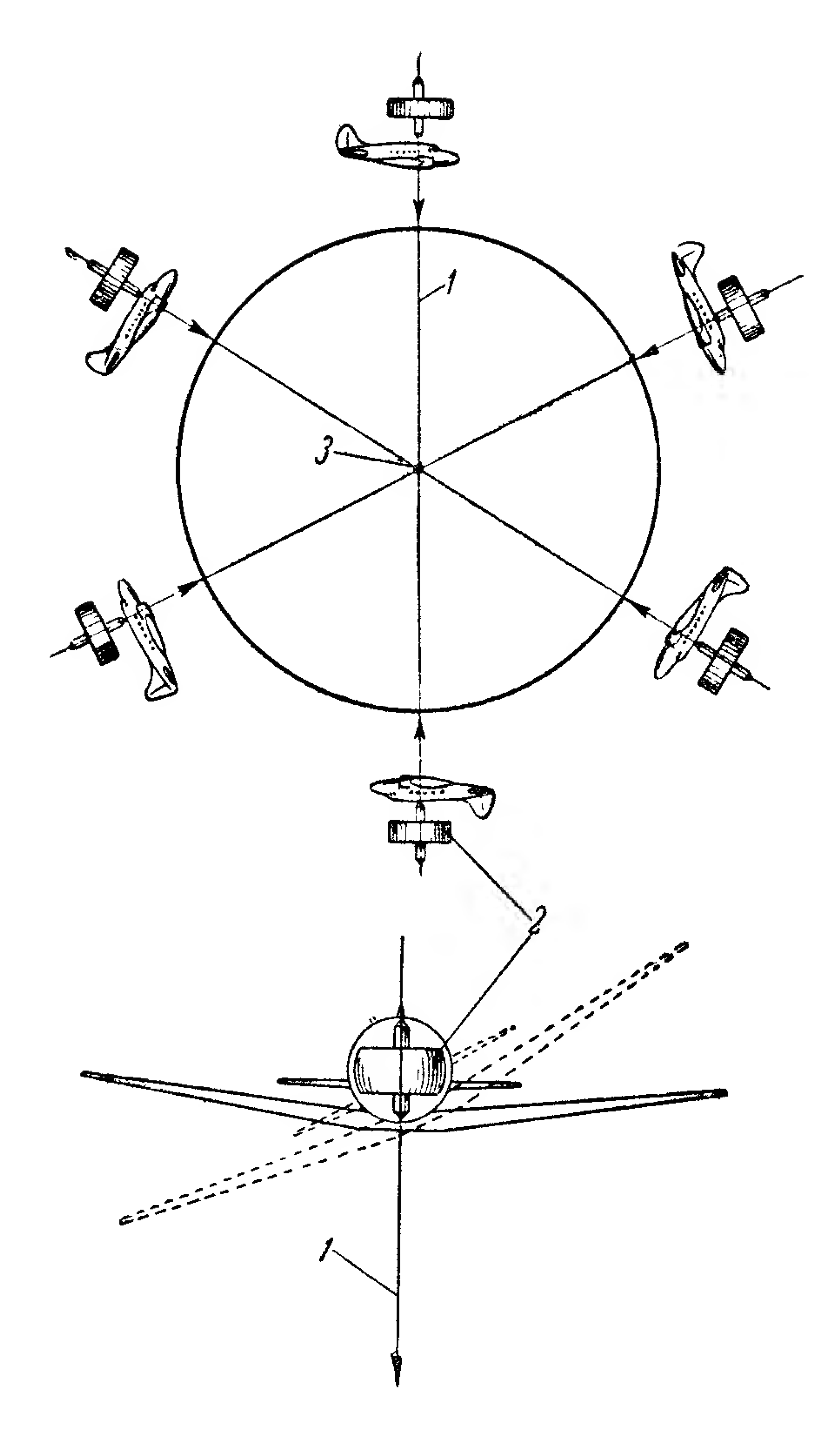


Рис. 27. Положение оси ротора гироскопа в авиагоризонте самолета. *1* — направление истинной вертикали указано стрелкой; *2* — независимо от крена самолета ось гироскопа в авиагоризонте всегда направлена по линии истинной вертикали к центру Земли; *3* — центр Земли.

Мы уже говорили, что применять на самолете отвес с грузом невозможно.

На стоянке шнурок с отвесом будет, вообще говоря, направлен к центру Земли, то есть по направлению истинной вертикали, которая всегда перпендикулярна плоскости горизонта. В полете же отвес может занимать относительно плоскости горизонта самые различные положения. Человек, находящийся в самолете, ощущает действие силы тяжести примерно в том же направлении, что и отвес (рис. 26). Такое направление называют кажущейся вертикалью.

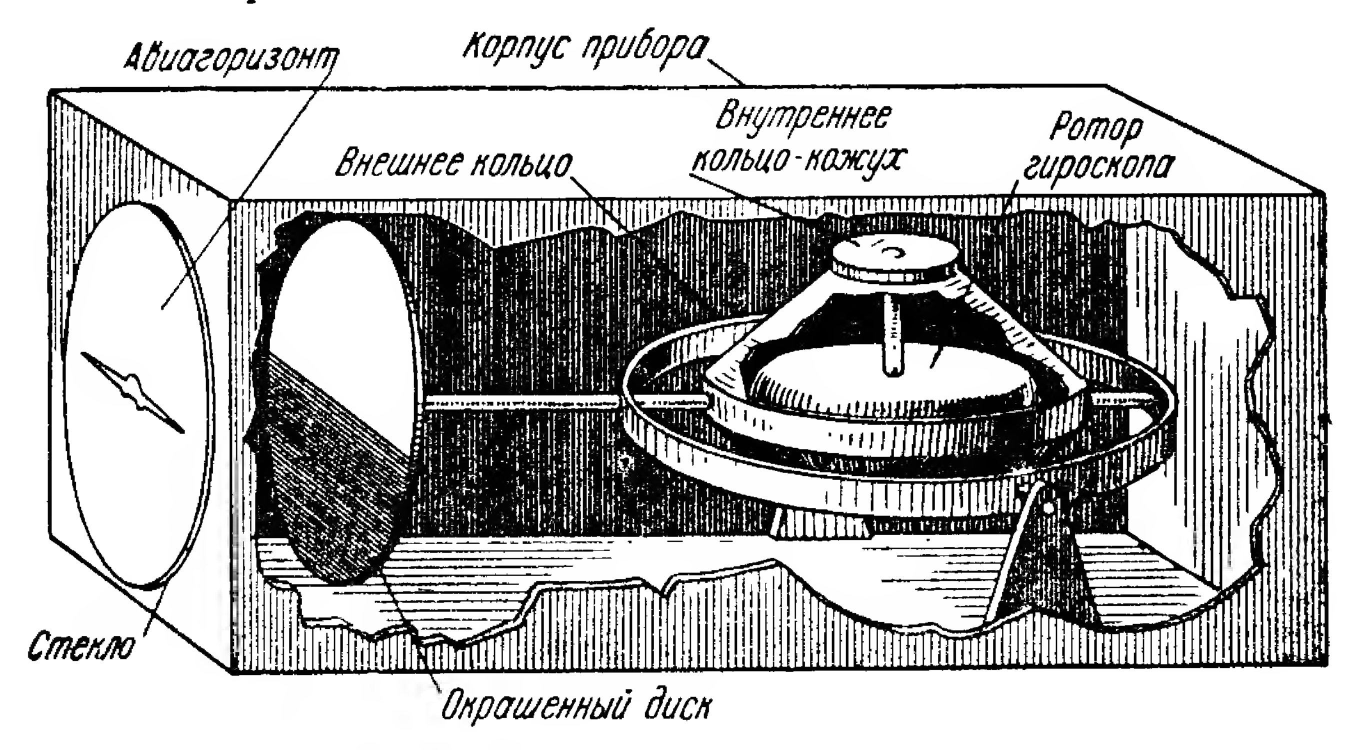


Рис. 28. Схема авиагоризонта.

Ясно, что наши ощущения и даже простейшие устройства, вроде отвеса, совершенно непригодны для определения истинной вертикали и горизонта на летящем самолете. Эта задача легко разрешима при помощи гироскопа. Ось гироскопа, как мы знаем, может располагаться по линии истинной вертикали — к центру Земли (рис. 27). Такой гироскоп и применяется в авиагоризонте (рис. 28).

Корпус прибора жестко крепится к приборной доске самолета. Круглое отверстие в передней стенке корпуса закрыто стеклом. На стекле нарисован горизонтальный силуэт самолета, летящего вперед от смотрящего на прибор. За стеклом находится круглый диск. Верхняя половина диска окрашена в голубой или белый цвет, а нижняя — в серый или черный. Горизонтальная линия, разделяющая верхнюю и нижнюю половины, представляет линию горизонта.

Диск авиагоризонта насажен на удлиненную ось, идущую от внутреннего кольца гироскопа. Внутри этого кольца расположен вертикально ротор гироскопа, вра-

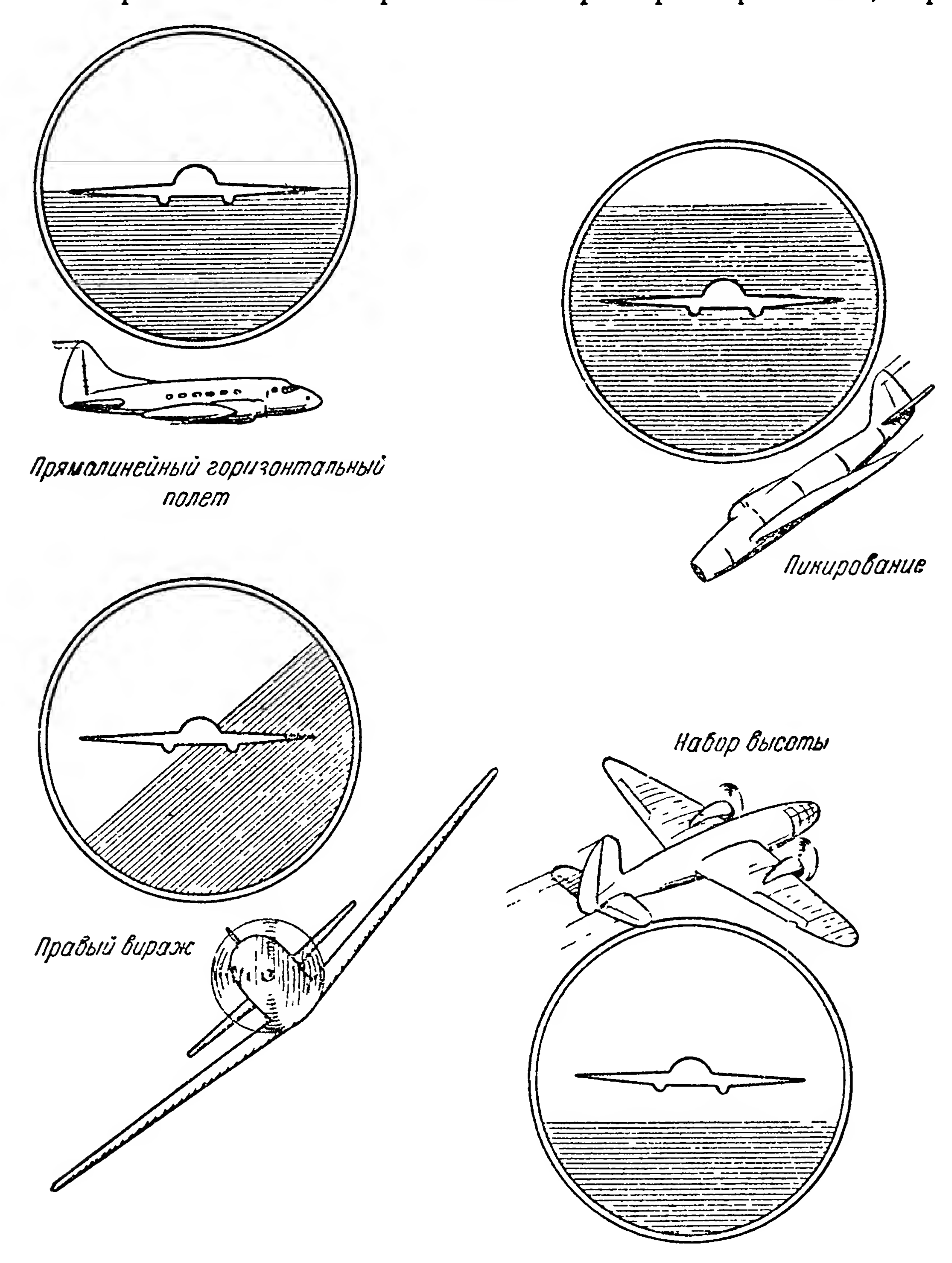


Рис. 29. Различные положения самолета и показания авиагоризонта.

щающийся со скоростью свыше десяти тысяч оборотов в минуту. Весит ротор всего около четырехсот граммов. Приводится он во вращение струей воздуха, падающей на лункообразные углубления, имеющиеся по окружности

ротора. Внешнее кольцо гироскопа покоится в подшипниках корпуса прибора.

В горизонтальном полете силуэт самолета на стекле прибора совпадает с горизонтальной линией, делящей диск на две половины (рис. 29).

При кренах, снижении или наборе высоты ось гироскопа неизменно направлена к центру Земли. Весь само-

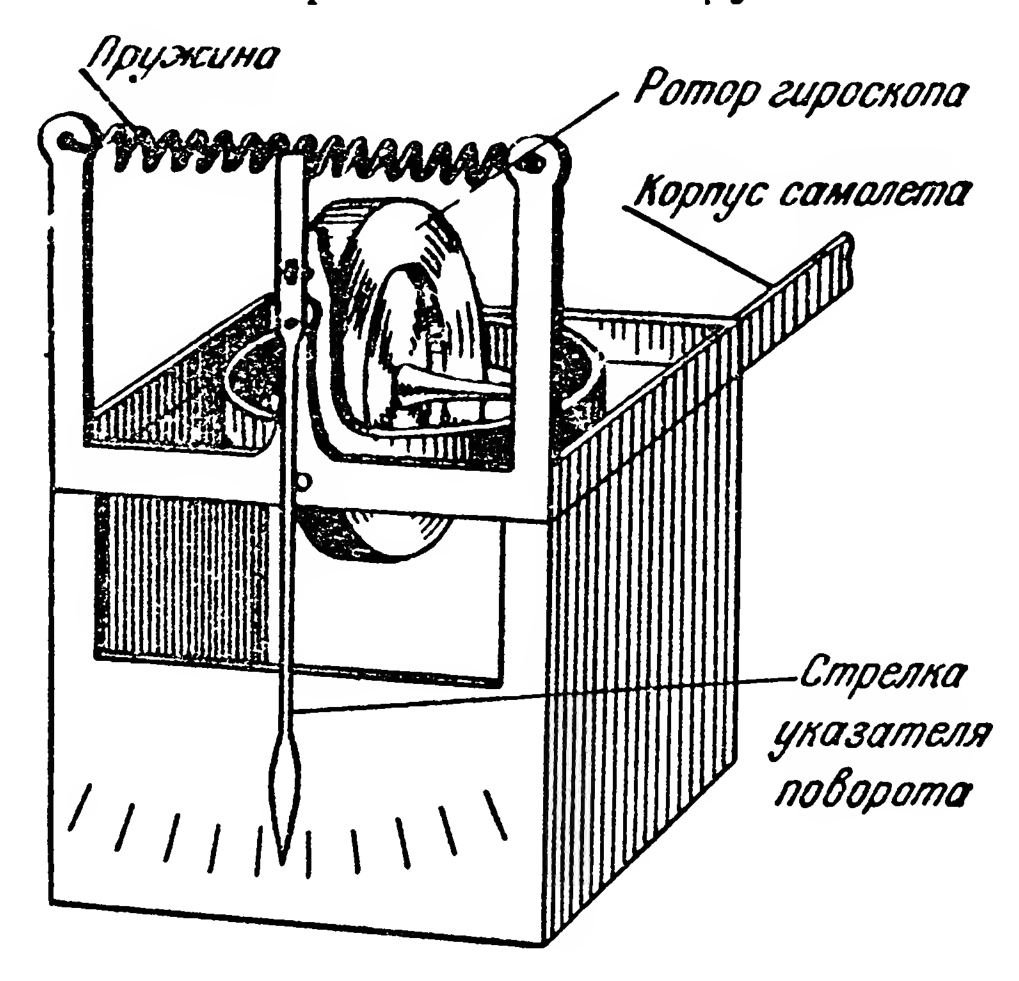


Рис. 30. Схема авиационного указателя поворотов.

лет как бы поворачивается вокруг оси ротора. Диск, насаженный на удлиненной оси внутреннего кольца гироскопа, тоже сохраняет свое положение в пространстве неизменным, а силуэт на стекле, поворачиваясь вместе с самолетом, занимает такое положение относительно линии на диске, какое самолет занимает относительно горизонта (рис. 29). Таким образом, пилот видит положение своего самолета относительно горизонта как бы со стороны.

Не меньшую роль играет в полете указатель поворотов. Этот прибор показывает угол поворота самолета вокруг вертикальной оси.

В основе указателя поворотов мы снова обнаруживаем гироскоп. Он находится в свободно подвешенной рамке. Прибор устроен таким образом, что ось гироскопа постоянно удерживается специальными пружинами в положении равновесия (рис. 30). Быстро вращающийся

ротор гироскопа, стремясь сохранить свое первоначальное положение, перемещает стрелку, указывающую степень поворота самолета.

Нередко указатель поворотов совмещают в одном приборе с авиагоризонтом. Авиагоризонт с указателем поворотов — лишь один из важнейших гироскопических приборов, необходимых для совершения слепых полетов.

САМОЛЕТ БЕЗ ЛЕТЧИКА

Непосвященный, заглянув в кабину управления летящего самолета, мог бы иногда с удивлением, а возможно и с ужасом обнаружить, что штурвал и педали перемещаются сами собой, словно самолетом управляет человек-невидимка. Пилоты же спокойно сидят в креслах. Один, как дома за столом, закусывает, второй безмятежно читает книжку или дремлет.

Секрет такого полета очень прост.

Почти на всех современных пассажирских и транспортных самолетах обязательно имеется автомат управления полетом — автоматический пилот, или автопилот.

Автопилот способен управлять самолетом по «заданию» летчика, подменяя его при взлете, наборе высоты или совершении поворотов и полете по прямой в направлении заданного курса, выполнять виражи и снижение под заданным углом.

При воздушной качке автопилот ведет самолет даже лучше опытного пилота, более плавно, смягчает толчки и броски самолета.

Бывают и такие автопилоты, которые автоматически выводят самолет из любого положения в горизонтальное, если летчик вынужден почему-либо оставить управление.

Можно, наконец, на борту самолета совместно с автопилотом поместить специальную радиоустановку и управлять таким образом полетом самолета с Земли.

Любопытна история создания автопилота.

Желание автоматизировать полет самолетов возникло одновременно с появлением самих же самолетов.

Первую в мире схему автоматического управления дирижаблем разработал наш соотечественник, знаменитый ученый К. Э. Циолковский в 1898 г. Принцип дей-

ствия этого автоматического устройства чрезвычайно прост.

На дирижабле нужно иметь источник электрического тока, электромотор, для отклонения руля высоты и чув-

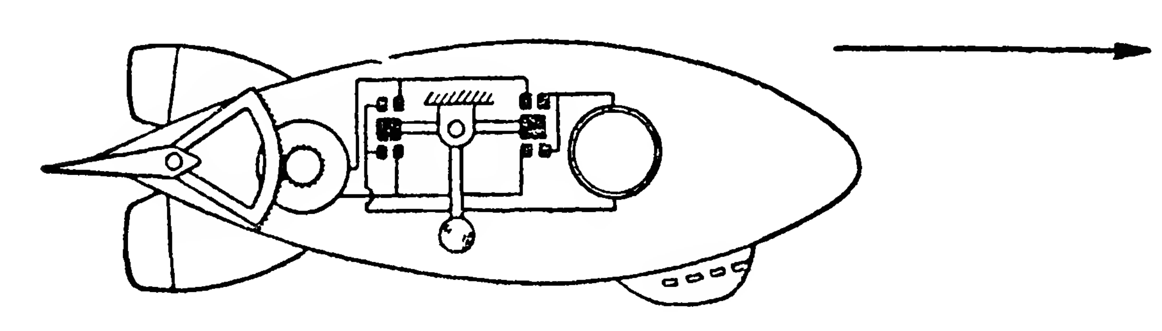


Рис. 31. Схема автоматического управления продольной стабилизации дирижабля, предложенная К. Э. Циолковским.

ствительный элемент в виде маятника с переключателями цепи электрического тока (рис. 31).

В случае «ухода» дирижабля из горизонтального полета маятник отклоняется. Переключатель соединяет

соответствующие контакты. От источников питания ток проходит в электромотор, приводя его в движение; электромотор через зубчатую передачу перемещает руль высоты в положение, при котором дирижабль возвращается в горизонтальное положение (рис. 31).

Принципиальная схема автоматического управления, разработанная К. Э. Циолковским, состоит из всех основных элементов, которые имеются в современных автопилотах «непрямого» действия. В таких автопилотах чувствительный элемент воздействует на управление не непосредственно, а через специальную машину, приводящую в движение управление дирижаблем или самолетом.

Конструкции подобных автопилотов относятся к группе маятниковых. «Автоматическое» управление на самолетах за рубежом впервые стали применять на десять-пятнадцать лет позже, чем в СССР, причем в качестве чувствительного элемента использовался... сам летчик.

Примерно в 1910—1911 гг. известный энтузиаст воздухоплавания и авиации бразилец Сантос Дюмон и летчик Кертис для облегчения управления полетом прикрепляли на спине к пиджаку хомутик, который имел связь с рычагом управления самолетом. Когда самолет кренился, пилот инстинктивно, стремясь сохранить вертикальное положение, наклонялся в сторону, противоположную крену. Прикрепленный к спине рычаг управления перемещался так, что самолет выравнивался.

В то время подобную «автоматику» еще можно было применять. Самолет летал со скоростью около восьмидесяти километров в час. В 1910 г. мировой рекорд скорости полета составлял сто девять километров в час.

На современных самолетах, летающих со скоростями звука, использование маятниковых автопилотов невозможно. Поэтому маятниковые автопилоты заменили в настоящее время гироскопическими. Изобретателем такого автопилота считают американца Сперри. Но мы знаем, что создателем первой принципиальной схемы автопилота является все же К. Э. Циолковский.

Современный автопилот самолета состоит из трех самостоятельных механизмов: автомата курса, автомата поперечной устойчивости и автомата продольной стабилизации. В каждом из них управляет движением отдельно установленный гироскоп.

Роторы таких гироскопов, свободно умещающихся на ладони, весом около четырехсот граммов, вращаются со скоростью двенадцати тысяч оборотов в минуту. Их задача — только подать команду мощным механизмам. А они уже выполняют необходимую тяжелую, сложную и ответственную работу по управлению самолетом.

Кратко познакомимся теперь еще с одним свойством гироскопа — способностью устанавливаться по полуденной линии (линии меридиана).

КОМПАС БЕЗ МАГНИТА

Уже много тысяч лет тому назад в древнем Китае знали замечательные свойства магнитной стрелки. Рассказывают, что в 2364 г. до современного летосчисления китайский император Хуанг Ти сумел победить своего соперника Чжи Су, преследуя его в облаках пыли и тумана, руководствуясь указаниями компаса, установленного на каретах в виде художественно исполненной фигуры.

В России рыбаки и землепроходцы издавна пользовались компасом. Давно на Руси знали этот замечательный, незаменимый в тяжелых и опасных путешествиях прибор, уважительно называли его «маткой».

Много столетий и даже тысячелетий магнитный компас действовал «верой и правдой», безотказно, с отменной точностью. Но в современных условиях он оказывается все более непригодным или неточно действующим прибором. На металлических судах, например, магнитный компас не особенно надежен. Большие стальные корпуса и отдельные детали судна, работа электромашин и даже перемещение небольшой металлической массы оказывают вредное влияние, искажая показания компаса.

Болтанка, рысканье, продольные и поперечные крены самолета вызывают резкое снижение точности действия компаса. А именно в это время, как никогда, нужна исключительная точность его показаний.

Мысль о замене магнитного компаса другим, более надежным прибором возникала неоднократно у многих и очень давно.

Л. Фуко уже в 1852 г. теоретически показал возможность создания гироскопа, определяющего направление полуденной линии, линии север — юг, в любой точке Земли, т. е. гирокомпаса.

Чем объясняется такое, казалось бы, странное поведение гироскопа?

Мы уже говорили о том, что земной шар — это гигантский волчок. По правилу же, установленному Л. Фуко, ось гироскопа с двумя степенями свободы на вращающемся основании всегда устанавливается параллельно оси вращения этого основания. При этом направление вращения ротора совпадает с направлением вращения основания.

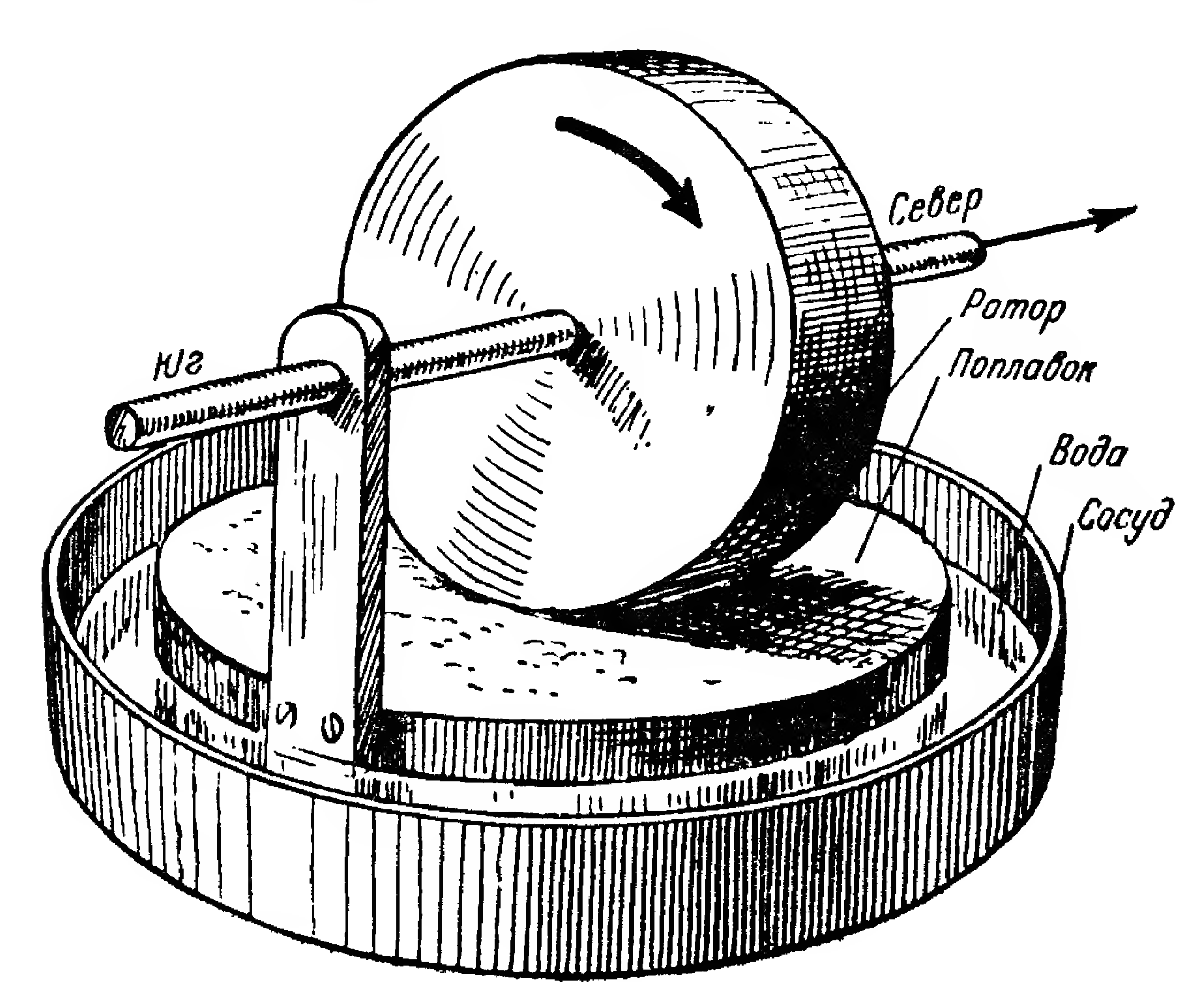


Рис. 32. Принципиальная схема гирокомпаса.

Значит, находясь с таким гироскопом на экваторе, мы заметим, что ось его установится по линии север — юг, то есть параллельно земной оси, причем направления вращения ротора и Земли совпадают.

В другом месте земного шара, не на экваторе, ось ротора нашего гироскопа будет отклоняться, направляясь одним концом на Полярную звезду. Чем ближе к полюсу, тем выше поднимается ось гироскопа, а непосредственно на полюсе ось его занимает вертикальное положение, что неудобно. Это неудобство вскоре было ликвидировано путем помещения гироскопа в подшипниках, прикрепленных горизонтально к поплавку, находящемуся, например, в сосуде с водой. Этим достигли того, что гиро-

скоп неизменно устанавливался по линии север — юг (рис. 32), т. е. гироскоп использовался как гирокомпас.

Однако история создания гирокомпаса не так проста и легка.

От теоретического предположения Л. Фуко до практического претворения в жизнь его замечательной идеи прошел длительный период исканий и работ многих ученых, изобретателей и конструкторов. Постепенно, шаг за шагом решались отдельные элементы конструкции гирокомпаса.

Одним из серьезных препятствий для применения гироскопа в гирокомпасе было отсутствие источника энергии для вращения ротора с достаточной для этих целей скоростью. Обычно ротор приводили во вращение шнуром, накрученным на его ось. Но таким способом трудно получить достаточно большую скорость и длительность вращения.

Впервые эта проблема была решена в 1865 г., когда в качестве ротора гироскопа использовали якорь электромотора постоянного тока.

Толчком к созданию гирокомпаса для морских судов послужил возникший в 1904 г. проект путешествия к Северному полюсу на подводной лодке. Для нее немецкий доктор Аншютц сконструировал гироскопический прибор, назвав его «азимутальным волчком».

Испытания «азимутального волчка» не дали положительных результатов: изобретатель неверно выбрал тип гироскопа.

Первым наиболее удачным гирокомпасом оказался прибор, созданный немецким специалистом Оскаром Мартинссеном в 1906 г. Однако и Аншютц после своей первой неудачи, отказавшись от «азимутального волчка», создал удовлетворительный для пользования гирокомпас (рис. 33). Скорость вращения роторов в этом гироскопе достигала двадцати тысяч оборотов в минуту. Такой скорости удалось достичь благодаря электромотору.

После Аншютца значительных успехов достиг американец Элмер А. Сперри, запатентовавший осенью 1909 г. свой гирокомпас. Впоследствии гирокомпасы, успешно применяемые на кораблях, были усовершенствованы. Многое сделали в этом отношении и наши отечественные инженеры, конструкторы.

Несмотря на совершенство гирокомпаса, в авиации его не применяют вследствие большой погрешности при больших скоростях полета, фигурах высшего пилотажа,

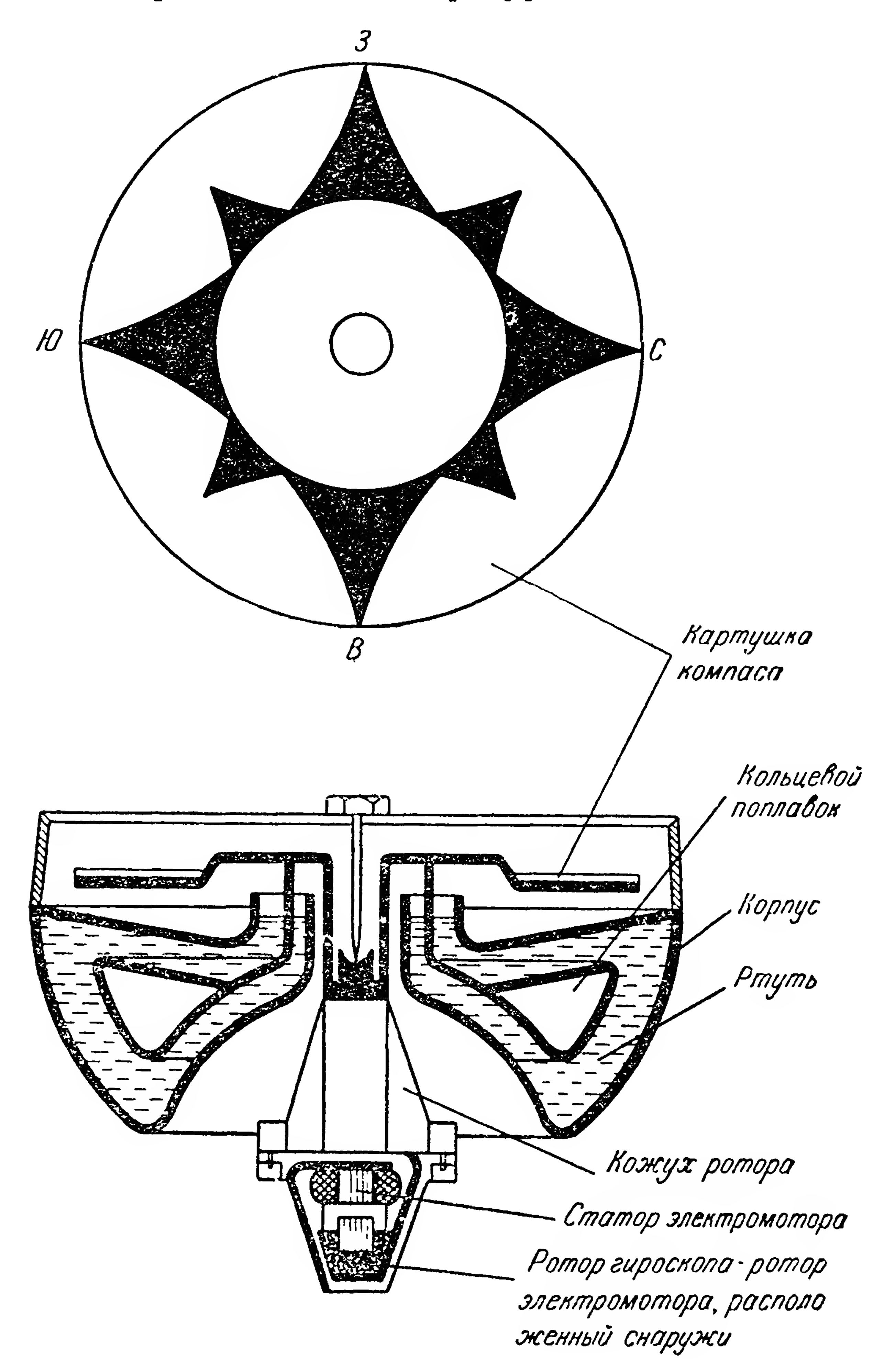


Рис. 33. Схема гирокомпаса Аншютца.

болтанке. «Хранителем курса» в авиации служат гирополукомпас и гиромагнитный компас. В основе их действия лежит все тот же гироскоп.

Гирополукомпас — довольно удобный и надежный прибор для самолетов. Он может с достаточной степенью точности показывать правильный курс, причем на него не действуют болтанка, рысканье и другие резкие движения самолета. Гирополукомпас обладает лишь одним недостатком: его показания оказываются точными в течение 10—15 минут, после чего их требуется сверять с магнитным компасом и, внеся исправление, вновь уверенно пользоваться в течение указанного срока.

Автоматизация работы по внесению исправлений в гирополукомпас достигнута и в гиромагнитном компасе. Для этого в нем имеется специальное корректирующее магнитное устройство.

Авиагоризонт, гирополукомпас, гиромагнитный компас, указатель поворотов, автопилот — приборы, без которых невозможен слепой полет. Все они прекрасно действуют благодаря быстро вращающемуся ротору гироскопа — волчку.

Можно было бы привести еще много примеров использования замечательного свойства быстро вращающегося гироскопа — сохранять приданное ему направление неизменным. Однако рассказанного достаточно, чтобы представить колоссальную важность и ценность этого замечательного прибора.

Не меньшее значение в технике имеет явление прецессии гироскопа, или так называемый гироскопический эффект. К рассказу о его проявлениях мы и перейдем.

НЕСКОЛЬКО ПОЛЕЗНЫХ И ВРЕДНЫХ НЕОЖИДАННОСТЕЙ

Обратившись к примерам из области техники, нетрудно обнаружить множество загадочных на первый взгляд явлений. Вот некоторые из них.

Уже при первых полетах самолетов было замечено странное явление, послужившее в некоторых случаях причиной аварий и даже катастроф. Самолет при совершении правого виража (поворота вправо) самопроизвольно стремился войти в пикирование. Если же выполнялся левый вираж, то он также самопроизвольно проявлял стремление кабрировать, то есть задирать нос, как бы становясь на дыбы, поворачиваясь вокруг своей поперечной оси.

Не менее загадочными на первых порах оказывались случаи износа и разрушения подшипников корабельных турбин. Металл в подшипниках срабатывался не только в нижней, но и в боковой и даже верхней частях. Иногда подшипники разрушались на ходу корабля и, как правило, в один из ответственных моментов — при развороте либо во время сильной качки.

Известны случаи, когда на автомобиле, мчавшемся по кривой, выходило из строя рулевое управление.

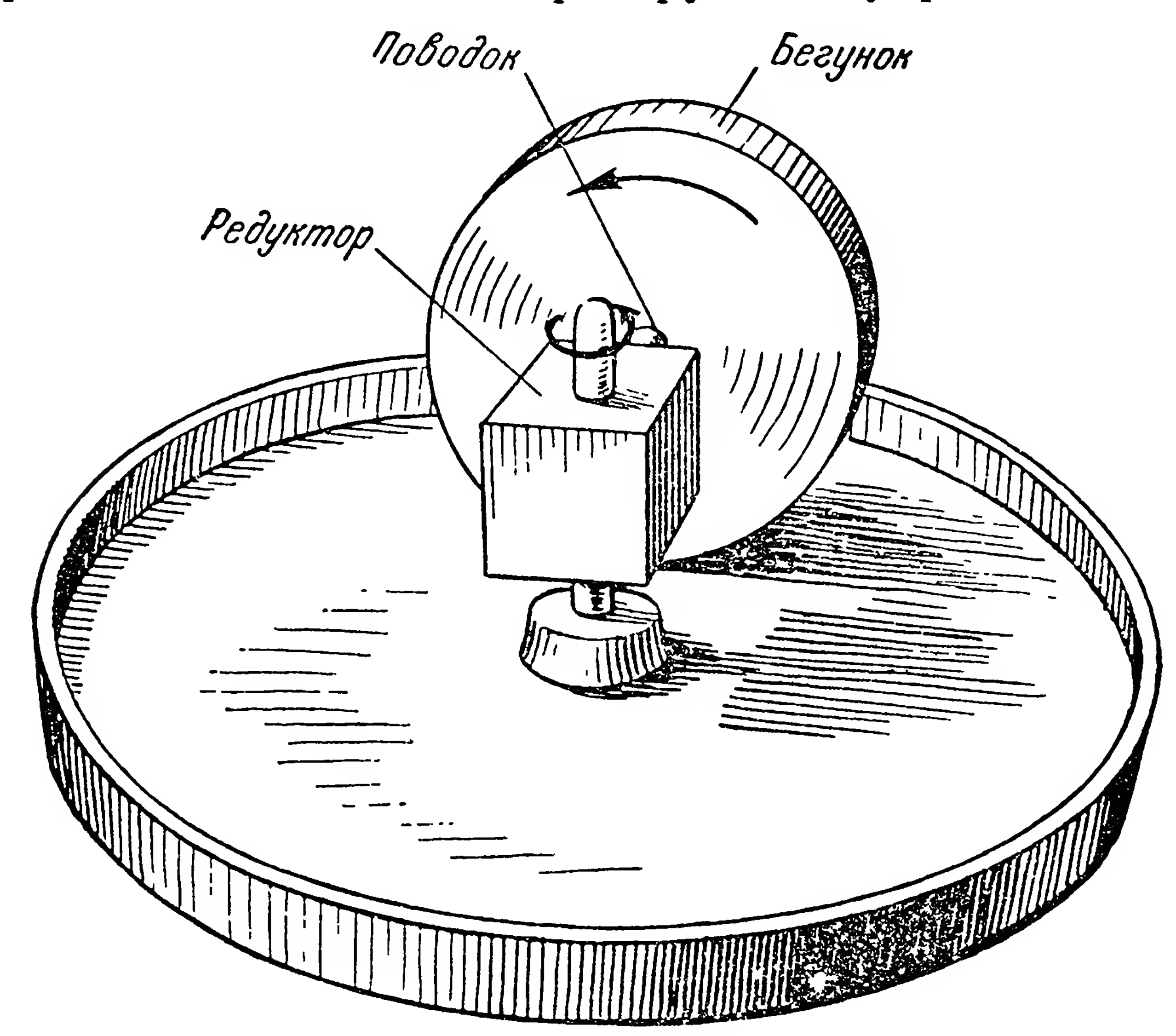


Рис. 34. Общий вид бегунковой мельницы.

Или еще один любопытный пример. Многие удивляются искусству велосипедиста, едущего, не держась за руль. Он не только смело мчится по прямой, скрестив на груди руки, но и ловко заворачивает и вправо и влево, не касаясь руля.

Приведенные примеры свидетельствуют о наличии некоторых вредных, опасных, трудно объяснимых явлений в технике. Однако нередко встречаются подобные, но полезные явления.

В мельницах для дробления руды основной рабочей деталью является тяжелый диск, так называемый бегунок (рис. 34). Было замечено, что на дробилках, где ведущий

вал соединен с диском жестким поводком или через кривошип, подшипники нагревались более сильно и чаще происходил изгиб вала, причем эффективность действия бегунка оказывалась в несколько раз ниже, чем на дробилках, где диск соединен с поводком посредством шарнира. Особенно часто подобные явления наблюдались у одиночного бегунка при жестком креплении поводка.

Не являются ли «загадочные» примеры проявлением гироскопических свойств?

Чтобы ответить на этот вопрос, возьмем гироскоп и приведем его ротор в быстрое вращение. Повесим теперь на его внутреннее кольцо небольшой груз.

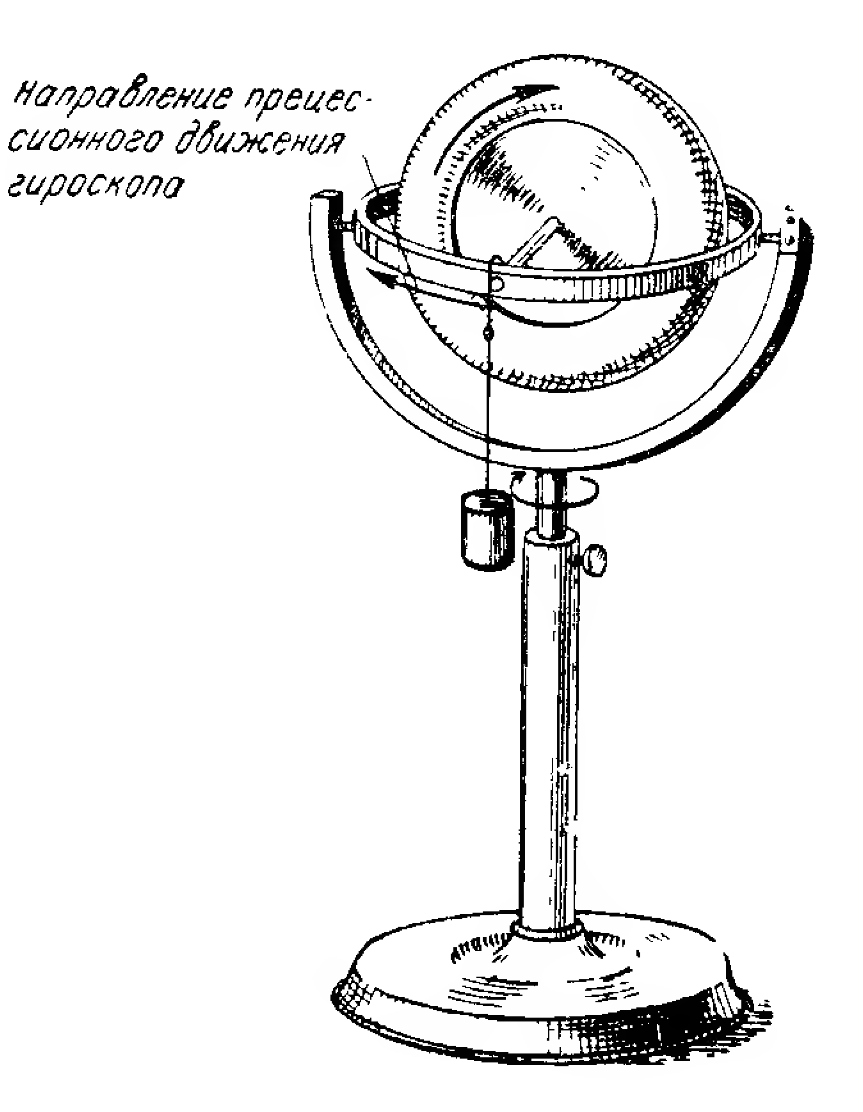


Рис. 35. Прецессия гироскопа с тремя степенями свободы под влиянием постоянной силы.

Внимательно наблюдая за «поведением» гироскопа, мы вдруг обнаружим, что его ось «уходит» с первоначального направления. При этом нетрудно заметить, что прецессионное движение его происходит по определенному правилу. Если ротор гироскопа вращается по часовой стрелке, как изображено на рисунке 35, то гироскоп «уходит» влево, и, наоборот, если ротор вращается против часовой стрелки, то гироскоп будет «уходить» вправо.

Так совершает прецессию гироскоп под действием постоянной нагрузки.

Если же нанести сильный, но кратковременный удар по внутреннему кольцу, то прецессия будет происходить несколько иначе. Ось гироскопа в этом случае будет описывать конус, как и обычный волчок (рис. 36).

Расположив горизонтально ось быстро вращающегося ротора гироскопа, накинем петлю висящего шнура на продолжение оси ротора (рис. 37). К нашему удивлению,

гироскоп сохранит приданное ему положение. Он будет лишь описывать окружность. Быстро вращающееся вело-

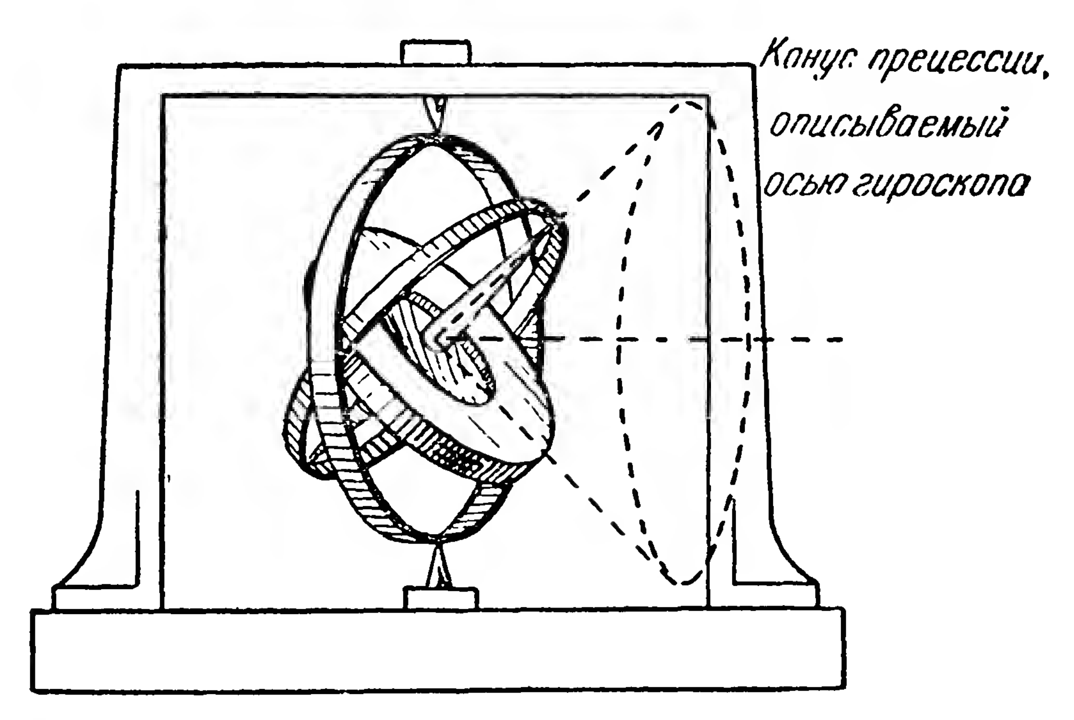


Рис. 36. Прецессия гироскопа с тремя степенями свободы от кратковременной силы — резкого удара по внутреннему кольцу.

сипедное колесо, подвешенное на веревке за удлиненную ось к потолку, станет «вести себя» точно так же, как и гироскоп в только что описанном случае (рис. 38).

Рис. 37. Прецессия быстро вращающегося гироскопа, подвешенного на шнурке.

Возьмем теперь в руки, направив горизонтально, ось велосипедного колеса, быстро вращающегося по часовой стрелке, если смотреть на него со стороны правой руки.

Это нехитрое устройство мы вправе считать ротором гироскопа.

Попытаемся теперь повернуть этот гироскоп так, чтобы поставить его вертикально, левым концом кверху, а правым — книзу. В процессе поворота мы, к удивлению, ощутим, как конец оси, находящийся в левой руке, устремится в горизонтальной плоскости вперед, а в правой — назад (схема *А* рис. 39).

Попытавшись теперь повернуть ось нашего гироскопа в горизонтальной плоскости, занося, например, левый ко-

нец оси вперед, а правый назад, мы обнаружим, что левый конец ее устремится вниз, а правый — вверх (схема *Б* рис. 39).

Подобное явление и называют прецессией гироскопа или гироскопическим эффектом. Если вспомнить объяс-

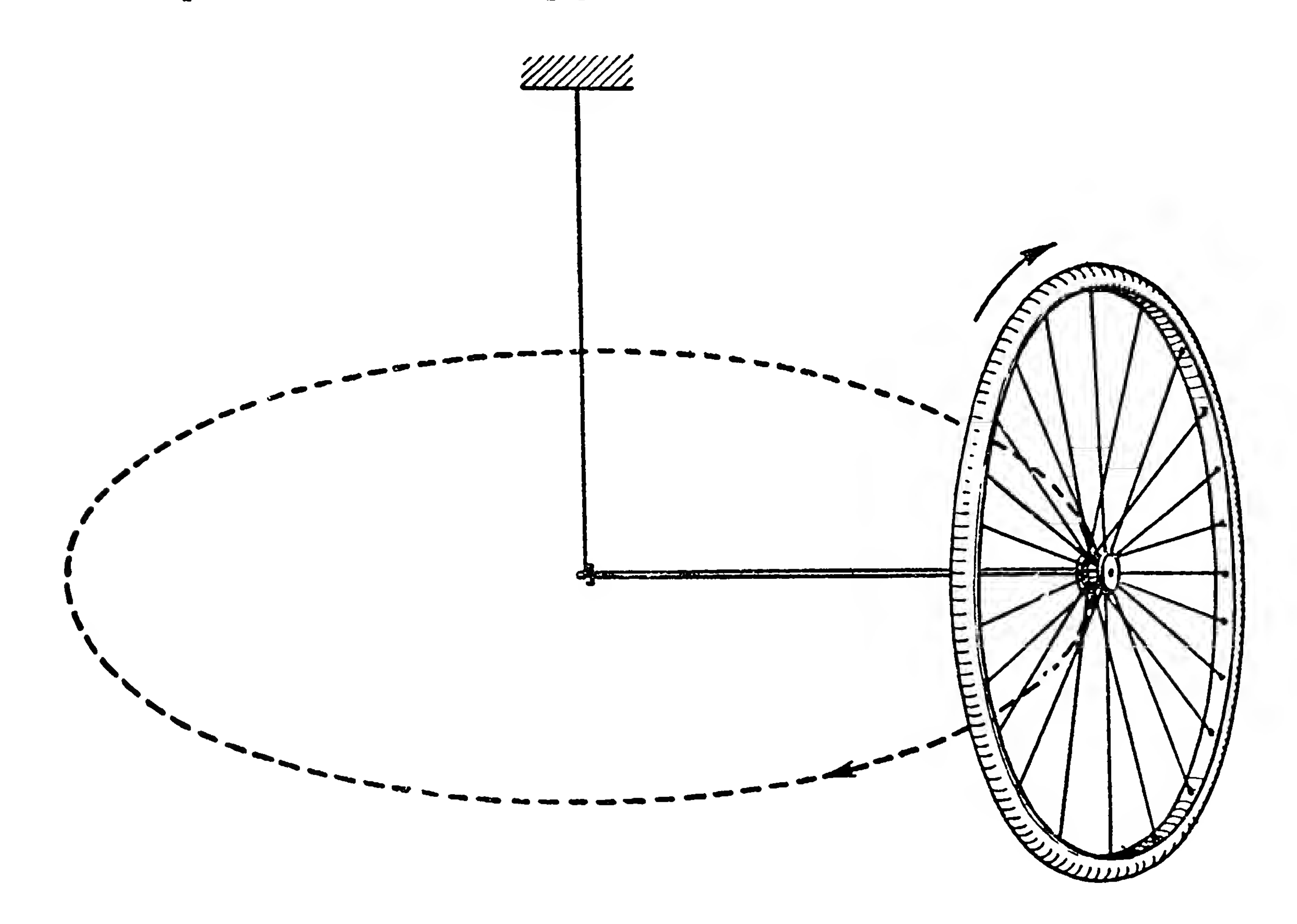


Рис. 38. Прецессия быстро вращающегося велосипедного колеса, подвешенного на шнурке.

нение причин «поведения» быстро вращающегося волчка, то легко разобраться в описанных явлениях.

Наблюдая за «поведением» велосипедного колеса, нетрудно обнаружить замечательную закономерность: прецессионная сила всегда направлена под прямым углом относительно приложенной силы.

Теперь мы можем уяснить причину возникновения полезных и вредных неожиданностей, описанием которых мы начали этот рассказ.

Быстро вращающийся винт летящего самолета подобен гироскопу. Если он вращается против часовой стрелки, то при левом вираже, то есть когда плоскость вращения винта поворачивается влево, прецессионная сила оказывается направленной вверх. Огромная скорость вращения винта и его большие размеры являются

причиной того, что прецессионная сила очень велика. Она и заставляет в этом случае самолет кабрировать, то есть задирать нос, вращаясь вокруг поперечной оси. Самолет, пытающийся совершить правый разворот, увлекается прецессионной силой в пикирование.

Колесо быстро вращающейся паровой турбины на корабле подобно огромному гироскопу. Под влиянием

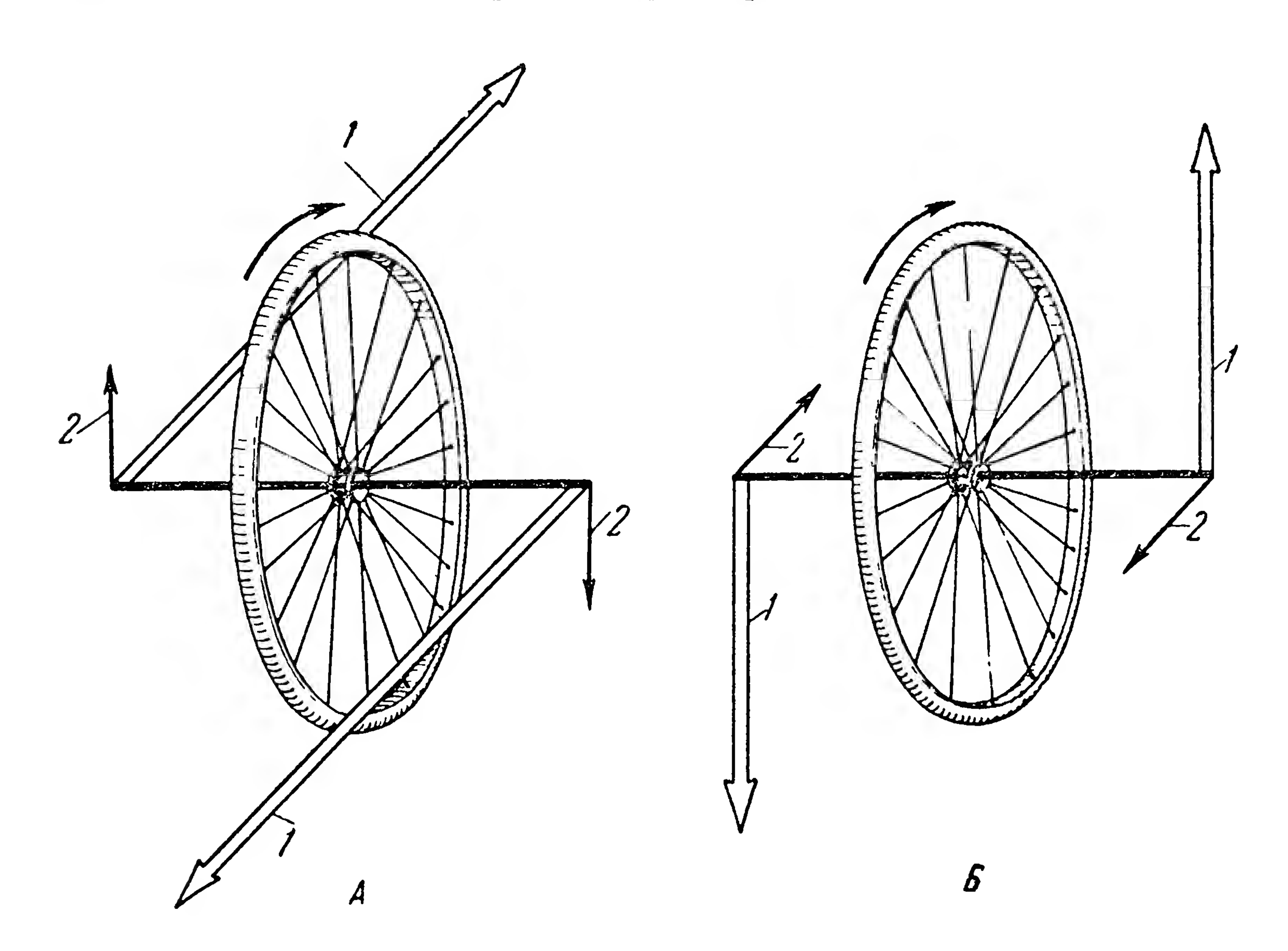


Рис. 39. Направление сил прецессии, возникающих под влиянием усилий, стремящихся повернуть ротор гироскопа, или ось велосипедного колеса. *1* — прецессионные силы; *2* — сила, прилагаемая к оси колеса, чтобы повернуть его.

разворота или качки вал турбины увлекает прецессионная сила, вызывающая дополнительные, иногда очень большие усилия, даже разрушающие подшипники. В некоторых случаях прецессионная сила нарушает управление кораблем.

О том, насколько велики усилия, возникающие на валу турбины, свидетельствует гибель английских миноносцев «Вепрь» и «Кобра», на которых впервые были установлены мощные паровые турбины. Предполагают, что причиной гибели послужил именно гироскопический эффект.

Колеса быстро мчащегося велосипеда, мотоцикла, автомобиля подобны быстро вращающимся роторам гироскопа. При наклонах и поворотах колес в них возникают прецессионные силы, под влиянием которых и происходят самопроизвольные развороты или выпрямление положения колес и поломка цапф.

Велосипедист, не держащийся за руль руками при езде, тоже использует явление гироскопического эффекта, возникающего при изменении положения колес. Достаточно велосипедисту наклониться вместе с велосипедом в сторону поворота, чтобы переднее колесо под действием возникающей силы прецессии повернуло в эту же сторону.

В езде на велосипеде, не управляемом руками, искусство состоит в том, чтобы точно рассчитать степень наклона и определить момент выравнивания велосипеда.

На мельницах с бегунковыми дробилками происходит явление, подобное описанному. В том случае, если бегунок жестко закреплен на поводке или через кривошип, прецессионная сила, действуя на вал, изгибает его. В том случае, если бегунок соединен с поводком посредством шарнира, прецессионная сила с большим усилием прижимает бегунок к размельчаемой руде. Получается больший эффект дробления ее. При жестком же креплении эта сила обычно затрачивается на изгиб поводка или нагрев подшипников.

Явления прецессии, явления гироскопического эффекта часто используют для успокоения качки судов, а также для устройства однорельсовых железных дорог.

БОРЬБА С КАЧКОЙ

Качка судов на море — чрезвычайно неприятное и опасное явление.

При очень сильном шторме судно может опрокинуться. Правда, это случается очень редко. Зато палубу часто заливает водой; в частях судна возникают значительные добавочные нагрузки вследствие инерции. Затрудняются всякие работы.

На военных судах качка мешает артиллерийской и торпедной стрельбе. На авианосцах сильно усложняются взлет и посадка самолетов.

Качка снижает скорость хода судна, от чего увеличивается продолжительность рейса, обычно сопровождающаяся перерасходом топлива.

От качки сильно страдают многие пассажиры.

В 1904 г. немецкий инженер О. Шлик разработал и испытал на бывшем минном заградителе «Зеебор», водоизмещением около шестидесяти тонн, гироскопическое устройство для борьбы с качкой — стабилизатор, или успокоитель качки.

Без стабилизаторов наклоны судна при качке достигали сорока градусов. С запуском гироскопического стабилизатора раскачивание судна резко уменьшилось. Оно стало не выше чем один градус. Сильно раскачивался лишь гироскоп.

Схему устройства успокоителя и принцип действия его нетрудно понять, обратившись к рисунку 40 (схема *А*). Вид успокоителя представлен с кормы.

Большой, тяжелый маховик, являющийся гироскопом, приводится во вращение паровой турбиной или электромотором. Маховик вместе с приводом находится в раме на подшипниках. Рама расположена строго перпендикулярно оси вращения маховика и в спокойном состоянии параллельна поперечному сечению судна. Удерживается она в таком положении при помощи специального груза. Цапфы рамы покоятся в подшипниках на фундаменте, жестко скрепленном с судном. Вращение рамы в цапфах относительно корпуса судна ограничено и, кроме того, тормозится специальными устройствами. Подвеска рамы выполнена с таким расчетом, чтобы ось гироскопа была всегда расположена вертикально.

Предположим, что ротор гироскопа вращается против часовой стрелки, если смотреть на него сверху, с палубы.

В момент удара волны о борт судна, например, слева оно кренится вправо (схема *Б* рис. 40).

Из опыта с велосипедным колесом нам известно, что под влиянием подобного наклона ось колеса будет стремиться перемещаться под прямым углом к направлению действующей на него силы. Таким образом, верхний конец оси ротора гироскопа-успокоителя в рассматриваемом случае вместе с рамой начнет уходить к носу судна, а нижний — к корме. Под влиянием затормаживания перемещающейся рамы в цапфах возникает добавочное сопротивление. Поэтому на корпус судна действуют уси-

лия, направленные в сторону, противоположную наклону корабля под влиянием волны (схема *В* рис. 40).

Такова схема действия пассивного успокоителя качки О. Шлика.

Этот успокоитель был установлен и на других, более тяжелых судах. Работал он вполне удовлетворительно. Однако из-за своей сложности пассивный стабилизатор не приобрел распространения.

Внеся некоторые изменения в конструкцию успокоителя, американец Э. Сперри создал так называемый активный успокоитель, при помощи которого можно было активно воздействовать на судно, не только успокаивая,

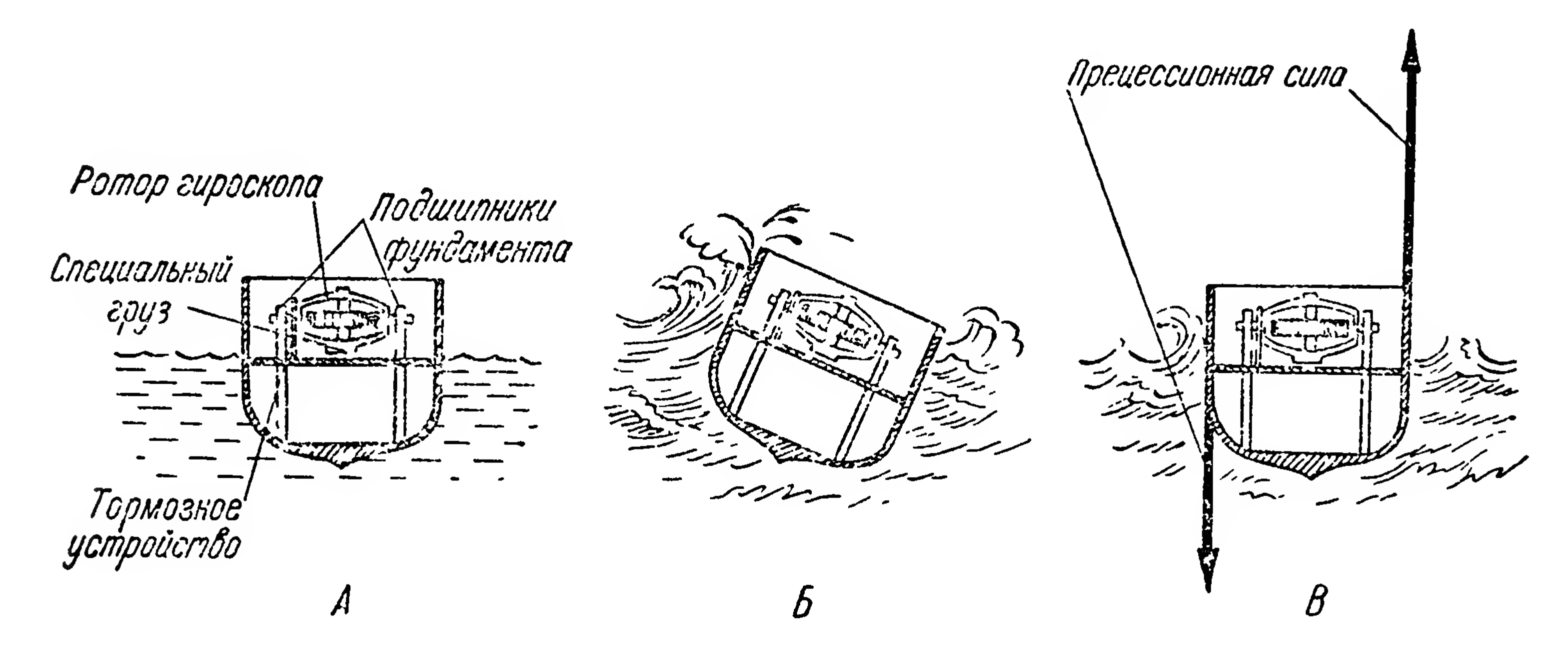


Рис. 40. Схема действия успокоителя качки на судне.

но и увеличивая качку. Последнее обстоятельство очень важно, например, для ледокола, проходящего через ледяные поля, где специальное раскачивание может облегчить разрушение льда.

Усовершенствование Сперри состоит в том, что движение основного гироскопа происходит под действием специальных двигателей, которые в свою очередь управляются автоматически действующим гироскопом. Однако принцип действия активного успокоителя такой же, как и пассивного.

Активный успокоитель оказался более компактным и менее сложным в эксплуатации, чем пассивный. Это позволило применять его не только на малых, но и больших судах.

Активные успокоители устанавливали на ряде военных судов, например на японском крейсере водоизме-

щением тринадцать тысяч тонн, на итальянском линейном корабле водоизмещением двадцать тысяч тонн, на японском пассажирском пароходе водоизмещением свыше пятнадцати тысяч тонн и на итальянском пароходе «Де Конте ди Савойя» водоизмещением в сорок пять тысяч тонн. Применяют активные успокоители на многих судах и теперь.

Над созданием гироскопического успокоителя судов работали многие. В дореволюционной России государственные деятели не обращали внимания на практическое использование гироскопа. Академик А. Н. Крылов в своих воспоминаниях писал, например: «Если бы Морское министерство не пожалело ассигновать 90 000 рублей на установку и испытания гироскопа-успокоителя на яхте „Стрела", мы были бы в том деле впереди Сперри».

ОДНОРЕЛЬСОВАЯ ДОРОГА

На таком же принципе, что и стабилизация судна при качке на море, основано устройство однорельсовой железной дороги.

Огромное количество рельсов необходимо для прокладки железнодорожного пути. Мысль о сокращении подобных расходов возникла давно. Хорошо было бы сократить вдвое количество рельсов, да и колес для вагонов. Решение этого серьезного вопроса возможно с помощью гироскопа.

Однорельсовую железную дорогу предложили примерно в 1909 г. почти одновременно англичане Бреннан, Шарль и русский инженер П. П. Шиловский.

В предложениях Шарля и Шиловского ось гироскопа расположена вертикально, в системе Бреннана — по поперечной оси вагона.

Для пропаганды идеи однорельсовой дороги Шарль и Шиловский построили одноколесный автомобиль. В нем они разъезжали по Лондону, удивляя жителей британской столицы.

Принцип действия гироскопа подобен принципу действия успокоителя качки судна.

Представим себе вагон однорельсовой железной дороги, в котором установлен гироскоп. Ось гироскопа расположена вертикально и находится в подшипниках, помещенных на раме, которая в свою очередь покоится в

цапфах, а подшипники рамы закреплены в стене вагона (рис. 41).

Допустим, что ротор гироскопа вращается по часовой стрелке, если смотреть сверху, а вагон, стоявший на месте вертикально, вдруг наклонился вправо. Он в этом случае, естественно, свалился бы на бок, но тут вступает в дело быстро вращающийся гироскоп.

Под действием наклона вагона в гироскопе возникает прецессия, благодаря которой ротор вместе с рамой *1* начинает поворачиваться в цапфах. Верхний конец оси ротора, если смотреть на рис. 41, будет двигаться к нам, а нижний — от нас (рис. 41). Под влиянием гироскопического эффекта, возникающего на концах цапф у стен вагона, возникают усилия, стремящиеся поставить вагон вертикально. Они, противодействуя силе тяжести, восстанавливают равновесие вагона.

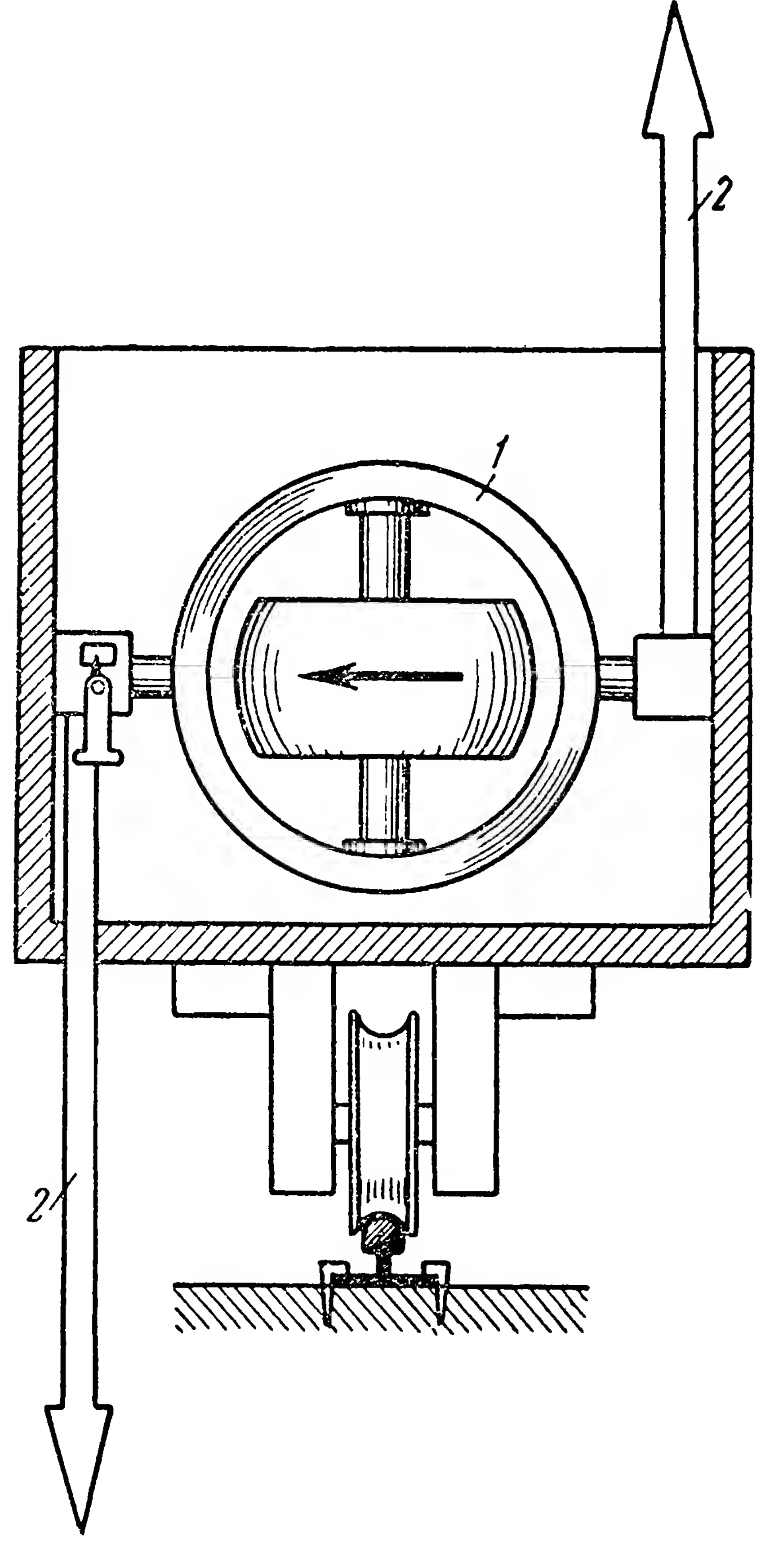


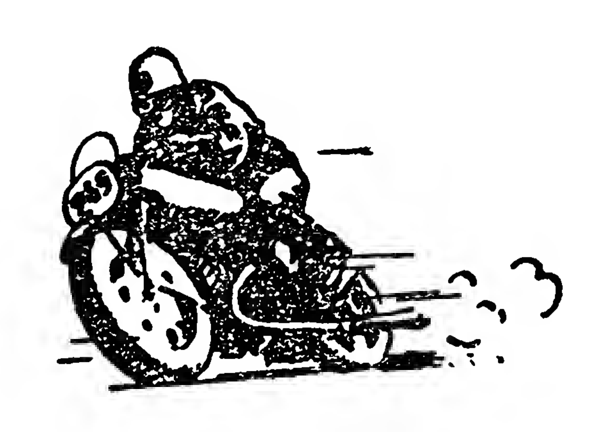
Рис. 41. Схема сохранения устойчивости вагона однорельсовой железной дороги. *1* — рама; *2* — прецессионная сила, восстанавливающая равновесие.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Открыв замечательные свойства волчка, этой любопытной «игрушки», человек подчинил себе одно из важнейших явлений природы. Волчок помог улучшить работу многих механизмов, создать большое количество ценнейших приборов и автома-

тов, обеспечить возможность уверенно совершать полеты на самолете в такую погоду, при которой даже птицы не решаются покинуть свое гнездо.

Будущее использование свойств гироскопа в технике не менее богато, чем прошлое. Устойчивость искусственных спутников Земли, космических станций и межпланетных кораблей, полеты в космическом пространстве невозможны без использования замечательных свойств гироскопа. На использовании их будут созданы многие приборы, механизмы и автоматы, облегчающие труд и повышающие его производительность.



ЛИТЕРАТУРА

1. **Браславский Д. А., Логунов С. С., Пельцер Д. С.,** Расчет и конструкция авиационных приборов, Оборонгиз, 1954.
2. **Булгаков Б. В.,** Прикладная теория гироскопов, Гостехиздат, 1955.
3. **Геронимус Я. Л.,** Очерки о работе корифеев русской механики, Гостехиздат, 1952.
4. **Граммель Р.,** Гироскоп, его теория и применения, тт. I и II, Издательство иностранной литературы, 1952.
5. **Кирпичев В. Л.,** Беседы о механике, Гостехиздат, 1950.
6. **Крылов А. Н. и Крутков Ю. А.,** Общая теория гироскопов и некоторых технических их применений, Издательство Академии наук СССР, 1932.
7. **Меркин Д. Р.,** Гироскопические системы, Гостехиздат, 1956.
8. **Николаи Е. Л.,** Гироскоп и некоторые его технические применения, Гостехиздат, 1947.

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА
1945 — 1957

Вып. 1. Проф. **Р. В. Куницкий**, Было ли начало мира, изд. 4-е, 1954.
Вып. 2. Проф. **М. Ф. Субботин**, Происхождение и возраст Земли, изд. 3-е, 1951.
Вып. 3. Проф. **К. Л. Баев**, Земля и планеты, изд. 2-е, 1956.
Вып. 4. Проф. **К. Ф. Огородников**, На чем Земля держится, изд. 4-е, 1953.
Вып. 5. Проф. **А. А. Михайлов**, Солнечные и лунные затмения, изд. 3-е, 1951.
Вып. 6. Акад. **В. А. Обручев**, Происхождение гор и материков, изд. 3-е, 1951.
Вып. 7. Проф. **В. И. Громов**, Из прошлого Земли, изд. 2-е, 1955.
Вып. 8. **Е. П. Заварицкая**, Вулканы, изд. 4-е, 1950.
Вып. 9. Проф. **Г. П. Горшков**, Землетрясения, изд. 4-е, 1950.
Вып. 10. Проф. **В. Г. Богоров**, Подводный мир, изд. 3-е. 1950.
Вып. 11. **Б. Н. Суслов**, Между пылинками и молекулами, изд. 2-е, 1950.
Вып. 12. **А. С. Данцигер**, Электрическая лампочка, изд. 2-е, 1950.
Вып. 13. Проф. **В. Г. Богоров**, Моря и океаны, изд. 3-е, 1949.
Вып. 14. **А. С. Федоров**, Огненный воздух, изд. 2-е, 1950.
Вып. 15. **Б. Н. Суслов**, Звук и слух, изд. 3-е, 1950.
Вып. 16. **А. А. Введенский**, Электричество в нашей жизни, изд. 1-е, 1953.
Вып. 17. **А. Л. Колесников**, Из чего состоит вселенная, изд. 2-е, 1951.
Вып. 18. **А. П. Крючков**, Искусственный каучук, изд. 2-е, 1953.
Вып. 19. Проф. **А. И. Китайгородский**, Кристаллы, изд. 2-е, 1955.
Вып. 20. Проф. **Б. Б. Кудрявцев**, Движение молекул, изд. 3-е, 1950.
Вып. 21. **Г. Н. Берман**, Счет и число, изд. 6-е, 1956.
Вып. 22. **О. А. Реутов**, Органический синтез, изд. 3-е, 1954.
Вып. 23. **К. А. Гладков**, Дальновидение, изд. 3-е, 1952.
Вып. 24. **Н. Г. Новикова**, «Необыкновенные» небесные явления, изд. 5-е, 1954.
Вып. 25. **Н. В. Колобков**, Грозы и бури, изд. 2-е, 1951.
Вып. 26. **А. И. Погумирский** и **Б. П. Каверин**, Производственный чертеж, изд. 3-е, 1956.
Вып. 27. Проф. **Р. В. Куницкий**, День и ночь. Времена года, изд. 3-е, 1954.
Вып. 28. **Е. В. Болдаков**, Жизнь рек, изд. 2-е, 1953.
Вып. 29. **А. В. Кармишин**, Ветер и его использование, изд. 2-е, 1952.
Вып. 30. **Г. А. Зисман**, Мир атома, изд. 3-е, 1951.
Вып. 31. **В. С. Сухоруких**, Микроскоп и телескоп, изд. 5-е, 1956.

Вып. 32. **Н. В. Гнедков**, Воздух и его применение, изд. 2-е, 1957.
Вып. 33. **А. Н. Несмеянов**. Меченые атомы, изд. 2-е, 1952.
Вып. 34. **В. Д. Охотников**, В мире застывших звуков, изд. 3-е, 1951.
Вып. 35. **С. Г. Суворов**, О чем говорит луч света, изд. 3-е, 1953.
Вып. 36. **Г. В. Бялобжеский**, Снег и лед, изд. 2-е, 1952.
Вып. 37. **М. С. Тукачинский**, Как считают машины, изд. 1-е, 1952.
Вып. 38. **С. Д. Клементьев**, Управление на расстоянии, изд. 1-е, 1951.
Вып. 39. **Л. К. Баев** и **И. А. Меркулов**, Самолет-ракета, изд. 3-е, 1956.
Вып. 40. **Д. О. Славин**, Свойство металлов, изд. 2-е, 1954.
Вып. 41. Проф. **В. П. Зенкович**, Морской берег, изд. 1-е, 1952.
Вып. 42. Проф. **С. Р. Рафиков**, Пластмассы, изд. 1-е, 1952.
Вып. 43. **В. А. Парфенов**, Крылатый металл, изд. 1-е, 1952.
Вып. 44. **В. А. Мезенцев**, Электрический глаз, изд. 3-е, 1952.
Вып. 45. **Б. Н. Суслов**, Вода, изд. 2-е, 1952.
Вып. 46. **И. А. Васильков** и **М. З. Цейтлин**, Кладовые Солнца, изд. 1-е, 1952.
Вып. 47. **С. Д. Клементьев**, Электронный микроскоп, изд. 2-е, 1953.
Вып. 48. **Э. И. Адирович**, Электрический ток, изд. 3-е, 1952.
Вып. 49. **В. В. Глухов** и **С. Д. Клементьев**, Техника на стройке коммунизма, изд. 1-е, 1952.
Вып. 50. **Ф. И. Честнов**, Радиолокация, изд. 2-е, 1955.
Вып. 51. Проф. **К. К. Андреев**, Взрыв, изд 1-е, 1953.
Вып. 52. **Д. А. Катренко**, Черное золото, изд. 2-е, 1953.
Вып. 53. **Г. А. Аристов**, Солнце, изд. 3-е, 1954.
Вып. 54. **К. Б. Заборенко**, Радиоактивность, изд. 1-е, 1953.
Вып. 55. **А. Ф. Буянов**, Новые волокна, изд. 2-е, 1953.
Вып. 56. **М. А. Сидоров**, От лучины до электричества, изд. 2-е, 1956.
Вып. 57. **И. Г. Лупало**, Наука против религии, изд. 2-е, 1955.
Вып. 58. **А. М. Иглицкий** и **Б. А. Соморов**, Как печатают книги, изд. 2-е, 1956.
Вып. 59. **В. К. Щукин**, Штурм неба, изд. 1-е, 1953.
Вып. 60. **А. Ф. Плонский**, Пьезоэлектричество, изд. 2-е, 1956.
Вып. 61. **Ф. Д. Бублейников**, Земля, изд. 2-е, 1955.
Вып. 62. **С. А. Морозов**, По суше, воде и воздуху, изд. 1-е, 1953.
Вып. 63. **Г. И. Бушинский**, Происхождение полезных ископаемых, изд. 1-е, 1953.
Вып. 64. **А. В. Чуйко**, Необыкновенный камень, изд. 3-е, 1956.
Вып. 65. **А. П. Лебедев** и **А. В. Епифанцева**, О чем рассказывают камни, изд. 1-е, 1953.
Вып. 66. Проф. **К. Ф. Огородников**, Сколько звезд на небе, изд. 2-е, 1954.
Вып. 67. Проф. **Н. С. Комаров**, Искусственный холод, изд. 3-е, 1954.
Вып. 68. Проф. **С. К. Всехсвятский**, Как познавалась вселенная, изд. 2-е, 1955.
Вып. 69. Проф. **В. Т. Тер-Оганезов**, Солнечные затмения, изд. 1-е, 1954.
Вып. 70. **Ф. И. Честнов**, Загадка ионосферы, изд. 2-е, 1956.
Вып. 71. **В. Д. Захарченко**, Мотор, изд. 2-е, 1954.
Вып. 72. **В. А. Лешковцев**, Атомная энергия, изд. 3-е, 1955.
Вып. 73. **А. Ф. Плонский**, Радио, изд. 2-е, 1955.
Вып. 74. **В. А. Парфенов**, Редкие металлы, изд. 1-е, 1954.
Вып. 75. **Ф. М. Иванов** и **Г. В. Бялобжеский**, Искусственные камни, изд. 1-е, 1954.
Вып. 76. **Л. К. Баев**, Вертолет, изд. 2-е, 1956.

Вып. 77. **Ю. М. Богданов**, Наука о прочности, изд. 2-е, 1957.
Вып. 78. **М. В. Беляков**, Атмосфера, изд. 1-е, 1955.
Вып. 79. **С. Морозов**, Фотография в науке, изд. 1-е, 1955.
Вып. 80. **И. А. Калинин**, Катализ, изд. 1-е, 1955.
Вып. 81. **К. П. Белов**, Что такое магнетизм, изд. 1-е, 1955.
Вып. 82. **И. Л. Орестов**, Холодный свет, изд. 2-е, 1957.
Вып. 83. **А. А. Штернфельд**, Межпланетные полеты, изд. 2-е, 1956.
Вып. 84. **М. Васильев**, Вода работает, изд. 1-е, 1956.
Вып. 85. **И. Ф. Добрынин**, Электроприборы в быту, изд. 2-е, 1956.
Вып. 86. **В. П. Зенкович**, Морское дно, изд. 1-е, 1956.
Вып. 87. **А. Ф. Плонский**, Измерения и меры, изд. 1-е, 1956.
Вып. 88. **Л. А. Сена**, Светящиеся трубки, изд. 1-е, 1956.
Вып. 89. **К. Л. Баев и В. А. Шишаков**, Всемирное тяготение, изд. 1-е, 1956.
Вып. 90. **Д. Э. Гродзенский**, Атомная энергия — медицине, изд. 1-е, 1956.
Вып. 91. **А. А. Жабров**, Почему и как летает самолет, изд. 1-е, 1956.
Вып. 92. **Ф. И. Честнов**, Незримый путеводитель, изд. 1-е, 1957.
Вып. 93. **Б. Иванов и Б. Борщевский**, Объемные изображения, изд. 1-е, 1957.
Вып. 94. **И. А. Меркулов**, Газовая турбина, изд. 1-е, 1957.
Вып. 95. **Б. В. Фомин**, Радиоэлектроника в нашей жизни, изд. 1-е, 1957.
Вып. 96. **К. В. Чмутов**, Сорбция, изд. 1-е, 1957.
Вып. 97. **А. С. Бернштейн**, Термоэлектричество, изд. 1-е, 1957.
Вып. 98. **Г. С. Бобровский**, Водяной пар, изд. 1-е, 1957.
Вып. 99. **Б. С. Беликов**, Телеграф и телефон, изд. 1-е, 1957.
Вып. 100. **А. И. Краснов**, Волчок и применение его свойств, изд. 1-е, 1958.

95 к.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА

Вып. 65. А. П. ЛЕБЕДЕВ и А. В. ЕПИФАНЦЕВА. О чем рассказывают камни.
Вып. 66. Проф. К. Ф. ОГОРОДНИКОВ. Сколько звезд на небе.
Вып. 67. Проф. Н. С. КОМАРОВ. Искусственный холод.
Вып. 68. Проф. С. К. ВСЕХСВЯТСКИЙ. Как познавалась вселенная.
Вып. 69. Проф. В. Т. ТЕР-ОГАНЕЗОВ. Солнечные затмения.
Вып. 70. Ф. И. ЧЕСТНОВ. Загадки ионосферы.
Вып. 71. В. Д. ЗАХАРЧЕНКО. Мотор.
Вып. 72. В. А. ЛЕШКОВЦЕВ. Атомная энергия.
Вып. 73. А. Ф. ПЛОНСКИЙ. Радио.
Вып. 74. В. А. ПАНФЕРОВ. Редкие металлы.
Вып. 75. Ф. М. ИВАНОВ и Г. В. БЯЛОБЖЕСКИЙ. Искусственные камни.
Вып. 76. Л. К. БАЕВ. Вертолет.
Вып. 77. Ю. М. БОГДАНОВ. Наука о прочности.
Вып. 78. М. В. БЕЛЯКОВ. Атмосфера.
Вып. 79. С. МОРОЗОВ. Фотография в науке.
Вып. 80. И. А. КАЛИНИН. Катализ.
Вып. 81. К. П. БЕЛОВ. Что такое магнетизм.
Вып. 82. И. Л. ОРЕСТОВ. Холодный свет.
Вып. 83. А. А. ШТЕРНФЕЛЬД. Межпланетные полеты.
Вып. 84. М. ВАСИЛЬЕВ. Вода работает.
Вып. 85. И. Ф. ДОБРЫНИН. Электроприборы в быту.
Вып. 86. В. П. ЗЕНКОВИЧ. Морское дно.
Вып. 87. А. Ф. ПЛОНСКИЙ. Измерения и меры.
Вып. 88. Л. А. СЕНА. Светящиеся трубки.
Вып. 89. К. Л. БАЕВ и В. А. ШИШАКОВ. Всемирное тяготение.
Вып. 90. Д. Э. ГРОДЗЕНСКИЙ. Атомная энергия — медицине.
Вып. 91. А. А. ЖАБРОВ. Почему и как летает самолет.
Вып. 92. Ф. И. ЧЕСТНОВ. Незримый путеводитель.
Вып. 93. Б. ИВАНОВ и Б. БАРЩЕВСКИЙ. Объемные изображения.